



Francisco José Paulino Mariano

Licenciatura em Engenharia do Ambiente

ACV de técnicas e estilo de vida mais eco eficientes: caso-estudo de uma unidade familiar com exploração agrícola

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia do Ambiente, Perfil de Sistemas Ambientais

Orientador: Prof. Doutor João Miguel Dias Joanaz de Melo
Professor Associado com Agregação, FCT - UNL

Co-orientador: Eng.º António Miguel Portugal Galvão
Bolsheiro de Gestão de Ciência e Tecnologia, FCT - UNL

Júri:

Presidente: Prof. Doutor Nuno Miguel Ribeiro Videira Costa

Arguente: Prof. Doutor Manuel Duarte Pinheiro

Vogal: Prof. Doutor João Miguel Dias Joanaz de Melo



**FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA**

Junho de 2021

ACV de técnicas e estilo de vida mais eco eficientes: caso-estudo de uma unidade familiar com exploração agrícola

©Francisco José Paulino Mariano

Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa

Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Agradecimentos

Quero agradecer aos meus avós, por me terem transmitido a sua paixão pela agricultura e pela natureza. Quero demonstrar um grande agradecimento ao meu avô, que mesmo já tendo partido, será sempre, o meu mestre.

À minha família e à minha namorada por todo o suporte dado nesta fase de dedicação.

Ao meu orientador, João Joanaz de Melo, pelo seu grande apoio e dedicação. E pela disponibilidade e interesse em ter aceitado participar neste projeto.

Ao meu coorientador, António Galvão, pelo seu incansável apoio, de horas e horas de dedicação a este projeto.

Resumo

A sociedade atual está assente numa economia cada vez mais global, dependendo de uma grande quantidade de produtos do mercado internacional. Todas as nações dependem de produtos extraídos e produzidos noutras partes do globo (combustíveis fósseis, alimentos, produtos tecnológicos e bens de consumo, entre outros). Estes produtos acarretam uma elevada pegada ambiental, associada ao seu processo produtivo e transporte.

A responsabilidade individual, ao nível das escolhas dos cidadãos, desempenha um papel fundamental na resolução da crise ecológica e climática. É essencial repensar a forma como vivemos e consumimos. É importante evitar consumos desnecessários, privilegiar os produtos locais, apostar na eficiência do uso de recursos e construir uma verdadeira economia circular.

Este trabalho tem como objetivo analisar como a pegada ambiental de uma família pode ser reduzida, através da adoção de um estilo de vida que procura ativamente soluções sustentáveis.

Foi realizada a análise de ciclo de vida de um conjunto de opções de melhoria, utilizando-se os indicadores de desempenho ambiental do método EcoBlok. Como caso de estudo considerou-se uma exploração agrícola associada a uma residência familiar, localizadas no concelho de Castelo Branco. As opções de melhoria estudadas foram: captação de águas pluviais para uso doméstico; compostagem doméstica; produção de alimentos em agricultura familiar; e melhoria do balanço energético da habitação através do isolamento térmico e da modernização do sistema de climatização e aquecimento de águas sanitárias.

Com os resultados obtidos foi possível concluir que a pegada ambiental da família em estudo pode ser consideravelmente reduzida com a aplicação deste conjunto de medidas. Para o conjunto de funcionalidades estudadas, as opções mais sustentáveis permitem: a redução de emissão de gases de efeito de estufa em 93% e da poluição do ar em 80%, principalmente devido à melhoria da eficiência energética da casa; a redução da extração de água em 84% e da poluição da água e solo em 97%, principalmente graças à produção agrícola familiar e compostagem; e a redução do uso do solo em 95% e da extração de recursos em 92%, pelo efeito conjugado da eficiência energética, agricultura familiar e compostagem.

Palavras-Chave: sustentabilidade, estilo de vida, consumo de recursos, análise de ciclo de vida, EcoBlok

Abstract

Our society is based on an increasingly global economy and dependent upon many products from the international market. All nations require a large fraction of products extracted and produced elsewhere (fossil fuels, food, technological products and consumer goods, among others). The production and transportation of such products come with a high environmental footprint.

People's choices are fundamental in solving the ecological and climatic crisis. It is essential that we rethink the way we live and consume. We need to avoid unnecessary consumption, favour local production, increase resource use efficiency, and build a true circular economy.

The goal of this work is to analyse how a family's environmental footprint can be reduced, through the adoption of a lifestyle that actively seeks sustainable solutions.

A life cycle analysis was conducted for a set of options, using the environmental performance indicators of the EcoBlok method. The selected case study was an agricultural holding with a family residence, located in the municipality of Castelo Branco in Portugal. The improvement options considered were: a rainwater catchment system; a domestic composting installation; food production in a family farming system; and the improvement of the house energy balance through thermal insulation and the modernization of the climatization and sanitary water heating systems.

The results obtained show that the environmental footprint of a family can be considerably reduced through the application of the proposed solutions. For the set of functions analysed, the more sustainable options allow: a reduction of greenhouse gas emissions by 93% and other air pollutants by 80%, due mainly to the improvement in energy efficiency; a reduction in water abstraction by 84% and of water and of soil pollution by 97%, mainly due to home farming techniques and composting; and a reduction of the need for land use by 95% and of resource extraction by 92%, due to a combination of energy efficiency, home farming and composting.

Keywords: sustainability, lifestyle, resource consumption, life cycle analysis, EcoBlok

Índice

Índice

| | | |
|--------|--|----|
| 1. | Introdução | 1 |
| 1.1. | Enquadramento | 1 |
| 1.2. | Objetivos e âmbito | 2 |
| 1.3. | Estrutura e organização da dissertação | 2 |
| 2. | Revisão da literatura | 4 |
| 2.1. | Análise de ciclo de vida | 4 |
| 2.2. | Estilo de vida e pegada ambiental | 5 |
| 2.3. | Matérias avaliadas no estudo | 6 |
| 2.3.1. | Consumo de água na habitação - captação de água pluviais | 6 |
| 2.3.2. | Gestão dos resíduos familiares - compostagem | 8 |
| 2.3.3. | Produção de alimentos – agricultura familiar | 11 |
| 2.3.4. | Energia na habitação – climatização e AQS | 12 |
| 3. | Metodologia | 14 |
| 3.1. | Método EcoBlok | 14 |
| 3.2. | Metodologia geral | 15 |
| 3.3. | Metodologia aplicada a cada técnica | 16 |
| 3.3.1. | Sistema de captação de água pluviais | 16 |
| 3.3.2. | Compostagem | 19 |
| 3.3.3. | Produção de alimentos | 21 |
| 3.3.4. | Melhoria do balanço energético da habitação | 25 |
| 4. | Caso de estudo | 28 |
| 4.1. | Apresentação do caso de estudo | 28 |
| 4.2. | Situação de referência | 29 |
| 4.2.1. | Sistema de captação de águas pluviais | 29 |
| 4.2.2. | Gestão dos resíduos através de compostagem | 29 |
| 4.2.3. | Produção de alimentos | 31 |
| 4.2.4. | Balanço energético da habitação | 33 |
| 5. | Resultados e discussão | 35 |
| 5.1. | Sistema de captação de águas pluviais | 35 |
| 5.2. | Gestão dos resíduos | 37 |
| 5.3. | Produção de alimentos | 38 |
| 5.4. | Balanço energético | 40 |
| 5.5. | Balanço total | 43 |
| 5.5.1. | Balanço total das melhorias no caso de estudo | 43 |

| | |
|--|----|
| 5.5.2. Relevância das melhorias face à pegada de uma família | 44 |
| 6. Conclusões | 46 |
| 6.1. Síntese | 46 |
| 6.2. Desenvolvimentos futuros | 47 |
| Bibliografia | 48 |
| Anexos | 52 |
| 1. Metodologia teórica do método Ecoblok | 52 |

Índice de figuras

| | |
|---|----|
| Figura 2-1: Usos domésticos de água – consumos no interior de uma habitação. Fonte: (Ferreira, 2012)..... | 6 |
| Figura 2-2: Esquema de um sistema de aproveitamento de águas pluviais por gravidade. Fonte: (Sousa, 2015)..... | 7 |
| Figura 2-3: Termómetro de composto á direita e composto em estado terminado á esquerda. Autoria do autor. | 9 |
| Figura 2-4: Pirâmide da Dieta Mediterrânica Fonte: Fundación Dieta Mediterranea)..... | 12 |
| Figura 3-1: Enquadramento das técnicas estudas nos parâmetros principais da pegada ambiental. | 15 |
| Figura 3-2: Valores chave utilizados para o dimensionamento de volume do depósito. | 16 |
| Figura 3-3: Metodologia da ACV do sistema convencional de abastecimentos de água da rede pública. | 17 |
| Figura 3-4: Metodologia ACV do sistema convencional de abastecimento de água da rede pública. | 17 |
| Figura 3-5: Metodologia ACV do sistema CAP. | 17 |
| Figura 3-6: Metodologia da análise do ciclo de vida do processo de compostagem doméstica. | 19 |
| Figura 3-7: Metodologia de análise de ciclo de vida dos processos de gestão dos resíduos. | 19 |
| Figura 3-8: Metodologia da análise de ciclo de vida da compra de alimentos de agricultura convencional no mercado..... | 21 |
| Figura 3-9: Metodologia da análise de ciclo de vida do consumo alimentos produzidos pelo próprio localmente e em regime tradicional | 21 |
| Figura 3-10: Metodologia da análise de ciclo de vida da produção de hortícolas..... | 23 |
| Figura 3-11: Metodologia da análise de ciclo de vida da produção de frutos. | 23 |
| Figura 3-12: Metodologia ACV da exploração da vinha..... | 23 |
| Figura 3-13: Metodologia ACV da exploração do olival. | 24 |
| Figura 3-14: Alfaias utilizadas. à esquerda o corta-mato no centro o derregador e à esquerda composto doméstico produzido | 24 |
| Figura 3-15: Metodologia da ACV do balanço energético da situação atual da habitação | 26 |
| Figura 3-16: Metodologia da ACV do balanço energético da proposta de melhoria da habitação | 27 |
| Figura 4-1: Fotografia da habitação e imagem satélite do terreno principal e terrenos florestais anexos. | 28 |
| Figura 4-2: Varandas disponíveis para colocação de depósito para águas pluviais..... | 29 |
| Figura 4-3: Demonstração do processo de compostagem e balde de resíduos produzidos diariamente | 30 |
| Figura 4-4: Imagem satélite da localização da horta na quinta em estudo | 31 |

| | |
|---|----|
| Figura 4-5: Apanha da batata à esquerda, cultura de cebolas no centro e cultura de couve coração à esquerda..... | 32 |
| Figura 4-6: Fotografias do pomar..... | 32 |
| Figura 4-7: Fotografias da apanha da azeitona..... | 33 |
| Figura 4-8: À esquerda face da habitação virada a sul e à direita face virada a norte. Fonte: foto tirada pelo autor | 33 |
| Figura 4-9: Zonas climáticas do Portugal. Representação da zona em estudo. Adaptado de: (Ministério do Ambiente, 2013)..... | 34 |
| Figura 5-1: Comparação das ACV da utilização dos 3 sistemas CAP e da água da rede – desempenho em relação à situação mais desfavorável (%) | 35 |
| Figura 5-2: Comparação das ACV dos processos de deposição em aterro e compostagem – desempenho em relação à situação mais desfavorável (%) | 37 |
| Figura 5-3: Comparação das ACV dos processos de deposição em aterro e compostagem com uma expansão de sistema – desempenho em relação à situação mais desfavorável (%)...... | 38 |
| Figura 5-4: Comparação das ACV dos cabazes comprado e produzido – desempenho em relação à situação mais desfavorável (%) | 39 |
| Figura 5-5: Comparação das ACV da situação atual e proposta de melhoria respetivas ao balanço energético da habitação – desempenho em relação à situação mais desfavorável (%). | 41 |
| Figura 5-6: Comparação do impacto do indicador - gases de efeito de estufa (CH), na climatização entre as situações estudadas e a média das famílias portuguesas..... | 42 |
| Figura 5-7: Comparação das ACV do caso de estudo com e sem as melhorias- – desempenho em relação à situação mais desfavorável (%) | 43 |
| Figura 5-8: Influência percentual das melhorias nas poupanças ambientais atingidas (%). | 43 |
| Figura 5-9: Comparação entre as situações antes e depois da aplicação das opções estudadas. | 44 |

Índice de Tabelas

| | |
|--|----|
| Tabela 2-1: Materiais Castanhos e Verdes utilizados na compostagem. Autoria do autor. | 10 |
| Tabela 3-1: Temas e técnicas escolhidas..... | 15 |
| Tabela 3-2: Grupos criados e respetivos processos e flows utilizados na ACV do sistema CAP. | 18 |
| Tabela 3-3: Depósitos escolhidos, encontrados no mercado | 19 |
| Tabela 3-4: Valores necessária a análise de ciclo de vida da compostagem doméstica..... | 20 |
| Tabela 3-5: Produtos escolhidos para criação dos cabazes | 22 |
| Tabela 3-6: Processos utilizados na produção do caso de estudo e respetivos fluxos | 24 |
| Tabela 3-7: Objetivos e medidas de melhoria propostas | 25 |

| | |
|---|----|
| Tabela 5-1: Comparação entre os valores finais da capacidade de água utilizada num ano e pegada carbónica anual dos sistemas CAP dimensionados..... | 36 |
| Tabela 5-2: Melhores soluções de isolamento térmico possíveis..... | 40 |
| Tabela 0-1: Factores de equivalência para o indicador captação de água | 53 |
| Tabela 0-2: Tabela 3.6 - Fatores de equivalência para o indicador extração de recursos..... | 54 |
| Tabela 0-3: Critérios para atribuição do fator de equivalência relativamente ao uso do solo... | 54 |
| Tabela 0-4: Indicadores EcoBlok e critérios de cálculo..... | 56 |
| Tabela 0-5: Factores de conversão usados para obter o Índice EcoBlok..... | 57 |

Lista de abreviaturas, siglas e símbolos

ACV – Análise de ciclo de vida

CAP – captação de águas pluviais

PVC- Policloreto de vinil

AQS - Aquecimento de águas sanitária

U - Coeficiente de transmissão térmica

GH- Gases de efeito de estufa

LU – Uso do solo

PA – Poluição do ar

PWL – Poluição da água e solo

RE – Extração de recursos

WA – Captação de água

1. Introdução

1.1. Enquadramento

Atualmente vivemos num planeta fortemente marcado pela presença humana. O impacto antropogénico apresenta atualmente uma grande influencia no clima, solo, oceanos e biosfera, provocando alterações que acontecem a uma escala temporal muito acelerada. Estas alterações tem um impacto tão grande nos ciclos ambientais que levaram ao surgimento de um novo conceito na comunidade científica, o Antropoceno, uma nova época geológica definida pela ação humana (Zalasiewicz et al., 2011). O Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento elaborou em 2020 o último Relatório para o Desenvolvimento Humano, cujo título é “A próxima fronteira, Desenvolvimento humano e o Antropoceno”. Este relatório aborda os principais desafios que o ser humano enfrenta nesta nova era, assim como analisa os melhores caminhos a seguir (Conceição, 2020).

A descoberta de uma poderosa e abundante fonte de energia, os combustíveis fósseis, juntamente com a revolução industrial iniciada no século XIX, proporcionaram à civilização humana um crescimento económico exponencial, a uma escala e velocidade nunca antes testemunhadas no passado. Esta evolução proporcionou à espécie humana no geral e nos países desenvolvidos em particular, conforto e padrões de vida nunca antes imaginados. A grande disponibilidade energética essencialmente nos países desenvolvidos está associada a um grande impacto ambiental na medida em que as principais fontes de energia utilizadas provêm de origem fóssil. Vivemos numa sociedade de consumo na qual todos os bens e serviços que consumimos, tem um impacto carbónico. É por isso necessário reduzir o consumo de recursos, apostar na eficiência energética e no consumo inteligente e sustentável dos recursos que consumimos (ONU, 2018).

As medidas políticas que têm sido tomadas pelos governos para mitigar a crise climática não tem sido suficientemente eficazes. Por essa razão o Parlamento e Conselho Europeus criaram, em junho de 2021 o regulamento (UE) 2021/1119, que consiste no regime para alcançar a neutralidade climática e que altera os regulamentos já existentes: nº4012009 e (UE) 2018/1999 («Lei europeia em matéria de clima»). Este novo regulamento refere que “A ameaça existencial consubstanciada nas alterações climáticas exige um maior nível de ambição e o reforço da ação climática, tanto pela União como pelos Estados-Membros” (UE, 2021).

A sociedade civil tem um papel fundamental na luta contra a crise climática, tanto através de ações que pressionem os governos, como a um nível de responsabilidade individual alterando hábitos e estilos de vida, substituindo-os por outros mais sustentáveis. Muitos autores têm ao longo dos tempos alertado a humanidade para o papel de responsabilidade individual na resolução dos problemas do mundo. O Papa Francisco na sua carta Encíclica “Sobre o cuidado da casa comum” critica o consumismo e o desenvolvimento irresponsável, apelando à responsabilidade pessoal, faz um apelo à mudança e à unificação global para combater a degradação ambiental e as alterações climáticas. Nesta comunicação o Papa transmite a ideia de que uma mudança interior no ser humano é essencial para a resolução dos problemas

ambientais e sociais, apelando à substituição de padrões comportamentais de ganância e egoísmo por outros como o amor e compaixão (Papa Francisco, 2015). Também outros mestres espirituais alertaram para esta questão, como Mahatma Gandhi, que disse: "O que estamos a fazer às florestas do mundo é apenas um reflexo do que estamos a fazer a nós mesmos e aos outros" (Seligman, 2005).

Ao longo dos anos alguns autores têm alertado a civilização para a importância da autorresponsabilidade. A responsabilidade sobre as ações individuais de cada cidadão exige assumir as próprias consequências. Madre Teresa de Calcutá disse: Não espere por grandes líderes, faça você mesmo, pessoa a pessoa. Seja leal às ações pequenas porque é nelas que está a sua força" (Joly, 1987). Também o psicanalista Sigmund Freud, afirmou: "A maioria das pessoas não quer a liberdade, pois a liberdade envolve responsabilidade, e a maioria das pessoas tem medo da responsabilidade" (Jelliffe, 1939).

A responsabilidade individual no combate à crise ambiental é um tema que considero fundamental na resposta a este desafio. No entanto este tema carece na literatura de uma abordagem na perspetiva científica. Motivado por uma grande vontade de contribuir com suporte científico para a resolução dos problemas ambientais que o mundo enfrenta e inspirado pelos autores que anteriormente referi, decidi realizar o presente trabalho.

1.2. Objetivos e âmbito

Este trabalho tem como objetivo perceber em que medida a pegada ambiental de uma família pode ser reduzida, através da adoção de um estilo de vida que procura ativamente mais soluções sustentáveis. Para tal foi realizada a análise de ciclo de vida (ACV) de um conjunto de melhorias propostas que visam otimizar a pegada ambiental familiar. Para o caso de estudo foi utilizado um caso real de uma família portuguesa.

A análise foi dividida pelas seguintes partes:

- Começou-se por estudar a aplicabilidade de um conjunto de técnicas de eco eficiência que visam suprir necessidades da família em estudo, reduzindo a sua pegada ambiental.
- Posteriormente realizou-se as ACV dessas mesmas técnicas e comparou-se com as ACV das formas mais convencionais de suprir as necessidades em questão.

1.3. Estrutura e organização da dissertação

A dissertação está organizada em 6 capítulos, sendo eles:

1. Introdução: em que é realizado um enquadramento ao tema, assim como descritos os objetivo e âmbito;
2. Revisão da literatura: em que são abordados teoricamente conceitos necessários ao estudo realizado, assim como uma revisão do conceito de metodologia ACV.

3. Metodologia: descrição das metodologias usadas para estudo da aplicabilidade das técnicas e concepção das suas ACV, e das ACV dos processos com as quais foram compradas.
4. Caso de estudo: em que é descrito o caso de estudo, abordando nele os temas estudados.
5. Resultados e discussão: em que são apresentadas e discutidas as comparações realizadas entre as ACV das técnicas estudadas e as ACV dos respectivos processos de comparação.
6. Conclusões: em que são analisados e discutidos os resultados do estudo de forma crítica.

2. Revisão da literatura

2.1. Análise de ciclo de vida

A análise de ciclo de vida (ACV) é uma ferramenta que permite identificar oportunidades para melhorar o desempenho ambiental dos produtos em diferentes fases do seu ciclo de vida. Os dados produzidos podem servir de base para tomadas de decisão, a nível de indústria, entidades governamentais etc. Permitindo assim um planeamento estratégico, definir prioridades ou redefinir um projeto ou redesenho de um produto ou processo.

A análise do ciclo de vida tem recebido cada vez mais atenção como ferramenta de avaliação de impacto ambiental. Ao contrário da análise separada de parâmetros como a pegada hídrica (WF) e a pegada de carbono (CF), avaliações cujo foco é apenas um único espectro ambiental, a ACV analisa sistematicamente os diferentes impactos ao longo de todo o ciclo de vida, possibilitando a identificação de potenciais compensações ambientais. Contudo a ACV ainda não possui uma utilização muito abrangente em termos de variedade de processos estudados, de acordo com o seu potencial (Odey et al., 2021).

A *International Organization for Standardization* (ISO) derivou de um conjunto de normas que padronizam o processo de ACV. Sendo as mais importantes as normas ISO 14040 e ISO 14044. A ACV aborda os aspetos e impactos ambientais ao longo do ciclo de vida de um produto. Desde a aquisição da matéria-prima até à produção, uso, tratamento de fim de vida, reciclagem e descarte final. As quatro fases de um estudo de ciclo de vida são: definição do objetivo, análise do inventário; avaliação de impacto e por último a fase de interpretação. (ISO, 2004)

A ACV é o método usualmente recomendado por instituições internacionais, como Comissão Europeia e o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, para apoiar a formulação de políticas de sustentabilidade, avaliando quantitativamente os impactos ambientais durante todo o ciclo de vida de um produto ou processo (Cucurachi et al., 2019).

A metodologia ACV tem sido predominantemente aplicada a produtos e processos industriais. Embora a maioria de os estudos de ACV sejam direcionados à produção industrial, tem surgido cada vez mais estudos sobre outros tipos de processos, como processos de produção agrícola, desempenho ambiental de organizações ou pegada ambiental. Tem sido realizados estudos de produtos agrícolas, que incluem a produção agrícola e industrial, o processamento e o transporte (Roy et al., 2009).

A ACV aborda os aspetos ambientais e os seus potenciais impactos ambientais ao longo do ciclo de vida de um produto. A análise engloba a aquisição da matéria-prima, o processo de produção, uso e destino final (como por exemplo reutilização, reciclagem de materiais, incineração ou deposição em aterro).

Segundo a norma ISO 14040:2006 um estudo de ACV desenvolve-se em quatro fases:

- a) fase de definição de objetivo;
- b) fase de análise de inventário;

c) fase de avaliação de impacto;

d) fase de interpretação.

O objetivo, o limite do sistema e o nível de detalhe de um estudo de ACV dependem do assunto e do uso pretendido do estudo. A profundidade e a amplitude do estudo podem diferir consideravelmente, dependendo do objetivo.

A fase de análise do inventário do ciclo de vida consiste num inventário de *input-output* de fluxos de materiais e de energia em relação ao sistema em estudo. Envolve a junção dos dados necessários para atender o funcionamento do sistema em estudo. A fase de avaliação do impacto do ciclo de vida tem como objetivo fornecer informações adicionais para ajudar a avaliar os resultados do inventário do sistema em estudo, a fim de compreender a sua significância ambiental (ISO, 2004).

2.2. Estilo de vida e pegada ambiental

Estilo de vida é definido como o padrão distinto de comportamento pessoal e social característico de um indivíduo ou grupo. O comportamento inclui atividades envolvidas e relacionamentos com parceiros, família, parentes, amigos, vizinhos e colegas, comportamento de consumo, lazer, trabalho (remunerado ou não) e atividade cívica e religiosa. Padrões de comportamento estão ligados a valores e a características sociodemográficas (Veal, 1993).

A pegada ambiental é uma medida holística da performance ambiental de um produto ou fornecimento de bens ou serviços de uma organização. Esta análise deve ser realizada através de uma abordagem de ACV (Matthews, 2013). O cálculo da pegada demonstra a pressão que as populações ou atividades colocam no ambiente num determinado ano, com a tecnologia prevalente e a gestão de recursos nesse mesmo ano (Ewing et al., 2008).

Vários estudos afirmam que a pegada ambiental está diretamente relacionada com o estilo de vida, sendo que de forma geral, quando maior for o nível de consumo de um indivíduos/família maior será a sua pegada ambiental. O estilo de vida define o comportamento dos indivíduos enquanto consumidores. Este comportamento, relativamente ao ambiente, pode ser prejudicial ou ser caracterizado por uma atitude de sensibilização e redução da pegada. Um estilo de vida caracterizado por boas práticas ambientais inclui padrões de comportamento que visam reduzir o impacto ambiental. O desafio principal é o facto de tais ações requererem mais informação e educação ambiental por parte da sociedade (Hajilou, 2020).

EcoBlok é um método desenvolvido para criar um rótulo ambiental quantitativo padrão para produtos ou processos. Rótulo que permite uma fácil transferência de informações de desempenho ambiental ao longo da cadeia de valor. O método é inovador no seu objetivo e abordagem ACV, rotulagem de produtos, pegada ecológica e conceitos de pensamento do sistema, e prestando especial atenção aos problemas de disponibilidade e comparabilidade de dados. (Joanaz et al., 2010)

2.3. Matérias avaliadas no estudo

2.3.1. Consumo de água na habitação - captação de água pluviais

A escassez de água é um dos problemas mais sérios que o mundo atravessará num futuro próximo. As alterações climáticas irão cada vez mais comprometer o abastecimento da água em certas regiões do globo, devido à seca severa (Alim et al., 2020). É por isso cada vez mais importante apostar na eficiência hídrica e na poupança deste recurso vital.

Um dos objetivos do PNUEA (Programa Nacional para o uso eficiente da água) é “reduzir ao mínimo o uso da água potável em atividades que possam ter o mesmo desempenho com águas de qualidade alternativa e de outras origens que não a rede pública de água potável, promovendo a utilização de água da chuva e a eventual reutilização de águas residuais tratadas”. Nem toda a água captada com vista a ser canalizada para uso urbano é de facto utilizada. A ineficiência relativa ao uso da água no setor urbano em Portugal é de cerca de 40%. Estas perdas correspondem na sua maioria a fugas nas condutas subterrâneas do sistema de distribuição (APA, 2012).

Segundo a Agência Portuguesa do Ambiente (APA) o consumo diário médio das habitações portuguesas é 310 L/dia. Na tabela em baixo encontram-se representados os principais tipos de uso doméstico de água no espaço interior e exterior da habitação. Os usos interiores não apresentam grande diferença percentual de acordo com o clima, região, tipologia de habitação e estação do ano. Já os usos exteriores apresentam uma variação sazonal considerável, sendo superiores no verão, correspondendo a atividades como rega de horta ou jardim, enchimento e manutenção de piscinas e lavagem de espaços exteriores e de automóveis (F. A. A. Ferreira, 2012).

Tabela 1: Usos interiores e exteriores de água.

| Usos interiores | Usos exteriores |
|---|-----------------------|
| Ingestão | Limpeza de exteriores |
| Cozinhados/Alimentação | Rega de jardins |
| Higiene Pessoal | Rega de hortas |
| Limpeza de interiores, de louça e roupa | Lavagem de automóveis |

Na figura 2-1 encontram-se representados de forma percentual os diferentes usos interiores domésticos de água. É possível observar que os usos associados ao maior gasto de água correspondem à higiene pessoal. A soma dos 2 principais usos, banhos/duches e autoclismo rondam os 60% do uso total.

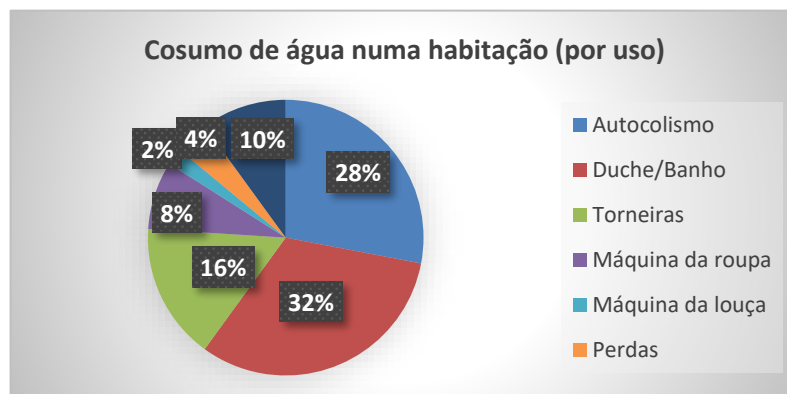


Figura 2-1: Usos domésticos de água – consumos no interior de uma habitação. Fonte: (Ferreira, 2012)

Captação de água pluviais

A captura de águas pluviais (CAP) um método já bem conhecido. Permite coletar e armazenar água da chuva que pode ser utilizada tanto para usos não potáveis como para usos potáveis com o devido tratamento. A utilização mais comum deste método destina-se a fins não potáveis tais como águas sanitárias, lavagem de roupa e louça, para rega e lavagens exteriores, evitando a utilização de água potável para esses fins. De acordo com Ghisi e Ferreira (2017) são atingidas poupanças de água potável na ordem dos 39%-43% com a utilização da água da chuva e água cinzentas para consumos não potáveis de água (Alim et al., 2020). Contudo a utilização para fins potáveis também é possível com a devida filtragem. Estudos afirmam que a produção de água potável através da captura de água da chuva em comunidades rurais é possível a um preço aceitável, e está alinhado com o objetivo de desenvolvimento sustentável das Nações Unidas: Água limpa e saneamento (Alim et al., 2020).

Perante a escolha de um sistema de captação de água devem ser considerados aspetos como a qualidade da água, quantidade, acesso, disponibilidade de energia elétrica, topografia do terreno e distância ao ponto de consumo. Deverão ainda ser considerados alguns fatores como a tecnologia e os materiais disponíveis, a viabilidade econômica, e aceitação social.

Constituição do sistema de captação de água pluviais

Um sistema de captação de águas pluviais é usualmente composto por uma superfície de captação da água, normalmente implementada na cobertura dos edifícios, e por um sistema de distribuição composto por calhas e tubos que a direcionam com vista a ser armazenada um depósito. O processo pode incluir uma filtração simples e um sistema de first-flush que consiste na rejeição da primeira quantidade de água de escoamento em cada chuvada. São também incluídos os meios de distribuição da água para os pontos de consumo, descargas de excedentes e sistema suprimimento com água de rede (Sousa, 2015).

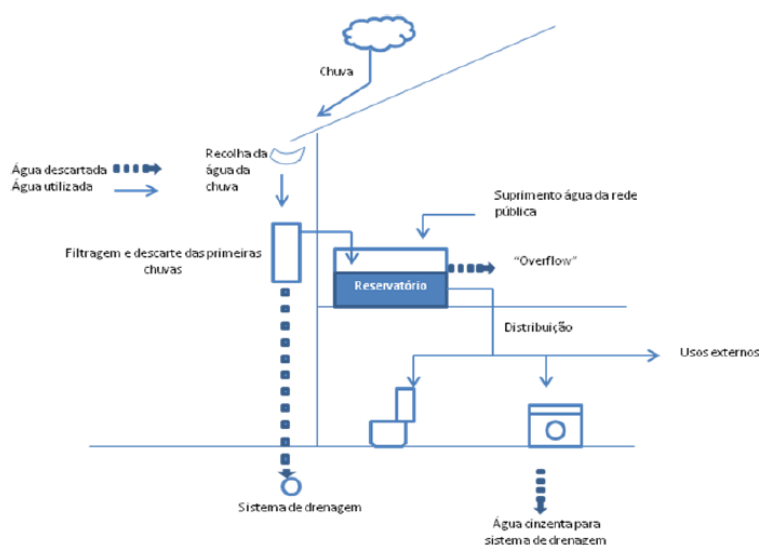


Figura 2-2: Esquema de um sistema de aproveitamento de águas pluviais por gravidade. Fonte: (Sousa, 2015)

A área de captação entende-se como qualquer superfície de material impermeável que sirva de cobertura de uma habitação. Tem a função de captar o volume de água que sobre ela cai e escoá-la para um sistema de calhas. Podem ser utilizados diferentes materiais impermeáveis tais como talhas, lajes ou plástico. Segundo Tomaz (2003) para a escolha do material recomenda-se considerar a durabilidade, impermeabilidade, disponibilidade, facilidade de conserto, resistência a incêndios, leveza e boa aparência. As calhas e os tubos condutores têm a função de levar a água das superfícies de captação até ao reservatório. As calhas devem estar fixadas junto às telhas na linha final no telhado (Filho, 2004).

Até à fase de armazenamento da água da chuva num reservatório, o processo de recolha e condução da água é comum aos vários tipos de sistemas de aproveitamento de águas pluviais.

Nos sistemas CAP que funcionam por gravidade como o representado na figura 2-2 a água da chuva é filtrada e é diretamente direcionada para um reservatório. Sendo depois distribuída para os diferentes pontos da casa. Em caso de falta da água, o depósito é compensado diretamente com água da rede pública e em caso de excesso de água, é esvaziado por um sistema de descarga “overflow”. Estes sistemas destacam-se positivamente pelo facto de não terem consumo energético, através de um bom funcionamento hidráulico (Sousa, 2015).

Propriedades da água da chuva, padrões de qualidade e usos legais

A água da chuva não é apropriada para consumo potável, sem tratamento prévio. O seu consumo sem tratamento é uma ameaça para a saúde humana. A Austrália é um dos países líderes na captação de água da chuva. É uma prática comum na comunidade rural australiana o consumo de água da chuva não tratada, armazenada em tanques, mesmo sendo contra o conselho da Direção de Saúde Australiana. Um estudo onde foram examinadas amostras de água da chuva no Sudoeste de Queensland na Austrália, revelou que 63% das amostras estavam contaminadas com *Escherichia coli* a um nível mais elevado do que o estabelecido pelas normas de água potável australianas. A contaminação da água da chuva pode ocorrer a vários níveis: no tanque de armazenamento; na superfície de captação; através do próprio material em si e por pedaços de terra ou excrementos de animais presentes no telhado (Alim et al., 2020).

Vários estudos concluíram que a qualidade da água da chuva captada em sistema CAP apresenta os parâmetros físico-químicos apropriados para uso potável. Contudo o mesmo não acontece com os parâmetros microbiológicos, sendo necessário um tratamento apropriado. Contudo estudos também afirmam que a adoção de medidas como a manutenção frequente do sistema, descarga das primeiras águas de escoamento, filtração e escolha de bons materiais, principalmente o material da superfície de captação, permitem o armazenamento de água com boa qualidade (Sousa, 2015).

2.3.2. Gestão dos resíduos familiares - compostagem

A compostagem doméstica é uma prática eficiente para dar resposta aos resíduos orgânicos domésticos, permitindo a sua valorização. Existem duas principais técnicas de compostagem direcionadas para agricultura familiar de pequena/média escala, que são: a vermi-

compostagem e a compostagem aeróbica. A vermi-compostagem é a técnica de maior potencial a nível urbano sendo a que necessita de menor área. Esta consiste na decomposição dos resíduos num recipiente de pequena dimensão através de minhocas californianas. Estas são diferentes das minhocas autóctones do clima português, na medida em que se alimentam diretamente da matéria orgânica não decomposta e transformam-na em húmus.

Compostagem aeróbica

A compostagem aeróbica é a prática mais comum em quintas e que mais seguramente permite suprir as necessidades de composto de uma horta. Consiste na decomposição dos resíduos orgânicos por microrganismos decompositores, fungos e minhocas.

Os três principais fatores a ter em conta para o sucesso do processo são o oxigénio, humidade e a relação carbono-azoto. O equilíbrio desejado entre estes três fatores potencia uma atividade máxima dos microrganismos decompositores o que origina um aumento de atividade metabólica com consequente aumento de temperatura. As temperaturas ideais situam-se entre os 35 e 70 °C, sendo que acima deste intervalo a atividade dos microrganismos desejáveis no processo é prejudicada. O ideal é que, no decorrer do processo, possa ser atingida uma temperatura de pelo menos 50°C, durante três dias, o que permite a eliminação da maioria dos agentes patogénicos indesejáveis e das sementes das ervas infestantes (Dowding, 2017).

A temperatura é o melhor indicador do sucesso do processo. A melhor forma de monitorizar este parâmetro durante o processo de compostagem é através da utilização de um termómetro de composto presente na imagem da figura 2-3.



Figura 2-3: Termómetro de composto á direita e composto em estado terminado á esquerda. Autoria do autor.

Este é um método de compostagem aeróbico pelo que os microrganismos necessitam de oxigénio para a sua atividade. Tal implica que o composto seja arejado para introdução de O₂.

É aconselhável virar pelo menos três vezes, sendo que quanto mais O₂ for introduzido mais rápido será o processo.

A humidade é também um fator a controlar. A existência de água a mais, ocupa todo o espaço poroso entre partículas, atrasando assim o processo por carência de oxigénio. A cobertura com plástico é uma boa solução, protegendo da água a mais no inverno e da perda excessiva de água por evaporação no verão (Dowding, 2017). A humidade ideal varia entre 50 a 60% (Richard et al., 2004) sendo possível a sua medição com auxílio a um equipamento próprio, de baixo custo.

Relativamente à composição carbono-azoto do processo, esta deverá aproximar-se de uma proporção de 70% de materiais ricos em carbono e 30% de matérias ricos em azoto. Os resíduos de cozinha são maioritariamente materiais verdes, ricos em azoto. Pelo que é necessário adicionar materiais ricos em carbono para realização de composto. Os materiais estão descritos na tabela 2-1.

Tabela 2-1: Materiais Castanhos e Verdes utilizados na compostagem. Autoria do autor.

| Castanhos – Carbono (C) | Verdes – Azoto (N) |
|-------------------------|--------------------|
| Madeira | Restos de Vegetais |
| Erva seca / palha | Restos de Frutas |
| Folhas secas | Relva verde |
| Papel e cartão | Borras de café |
| Caruma | Ervas daninhas |
| Cascas de ovos | Folhas verdes |
| Conchas | Estrume de animal |

Praticamente todos os tipos de materiais orgânicos podem ser incluídos no processo. Contudo certos restos de produtos alimentares podem atrair roedores, que são um problema essencialmente no meio urbano. Alguns alimentos a evitar são: cascas de queijo, restos de carne e peixe, ossos, comida cozinhada e óleos.

Relativamente à dimensão dos materiais, quando maior for a sua relação área/volume e menor for o seu tamanho, mais rápida será a sua composição (Dowding, 2017).

2.3.3. Produção de alimentos – agricultura familiar

Atualmente a maioria dos produtos que consumimos provêm de uma agricultura industrial, muito mecanizada, com um uso muitas vezes intenso de pesticidas e com recurso a fertilizantes inorgânicos como principal fonte de nutrição das culturas. Estas práticas tem um impacto danoso no solo através de vários fatores como a compactação, erosão e perda gradual de matéria orgânica. A acrescer a esta pegada ambiental proveniente da produção, soma-se também a pegada associada ao setor do retalho. Os alimentos viajam grandes distâncias desde que são produzidos até ao local de compra. Sendo uma situação comum um produto ser transportado para um outro país para ser processado ou apenas embalado e depois voltar para o país de origem onde foi produzido para ser comercializado (Elliot Coleman, 1989).

A alimentação essencialmente assente num consumo local e sazonal é fundamental para atingir uma pegada ambiental sustentável. A agricultura familiar poderá apresentar um contributo para este objetivo, apresentando algum potencial em meio urbano através de hortas comunitárias, mas sobretudo no meio rural, onde é comum as famílias possuíram terrenos disponíveis para produção agrícola.

A horta “Ela é o fulcro da vida da família, o seu armazém fornecedor de subsistências” escreveu Maria Martins no seu livro “Contrastes da nossa terra”, caracterizando a importância das hortas na vida das famílias do antigamente (Martins, 2013). As hortas sempre foram espaços essenciais à sobrevivência dos nossos antepassados. Ainda no século passado grande parte da população portuguesa vivia através de uma agricultura de subsistência. Uma agricultura assente em força humana e animal sem acesso a ferramentas mecânicas. As hortas, variando com a zona do país, eram espaços pequenos, onde eram cultivados os hortícolas essenciais à subsistência das famílias, tais como a batata, couve, cebola, abóbora entre outros. Normalmente existia também um poço, umas oliveiras, videiras ou qualquer outra árvore de fruto. Existiam também outros terrenos onde eram cultivadas as culturas mais extensivas como o milho ou os cereais. (Maria Martins, 2001)

Hoje em dia é possível gerir pequenos espaços de produção hortícola, de forma eficiente em termos de tempo e mão de obra, com recurso a pequenas máquinas agrícolas, ferramentas modernas e sistemas de rega. Sendo que um hectare de terra, é suficiente para uma família produzir grande parte dos alimentos que necessita (Elliot Coleman, 1989).

A dieta mediterrânica presente na figura 2-4 (em baixo), tem a sua base assente no consumo de hortícolas, frutas, azeite e cereais integrais. Sendo os três primeiros grupos (hortícolas, frutas, azeite) facilmente produzidos por agricultura familiar num terreno de 1 hectare.

A Dieta Mediterrânica foi declarada, pela UNESCO em 2013 património cultural e imaterial da Humanidade (UNESCO, 2013). Segundo o Programa Nacional para a Promoção da Alimentação saudável da Direção Gral de Saúde, esta dieta representa um modelo alimentar completo e equilibrado com inúmeros benefícios para saúde, longevidade e qualidade de vida (GGS, 2003).



Figura 2-4: Pirâmide da Dieta Mediterrânica Fonte: Fundación Dieta Mediterránea)

2.3.4. Energia na habitação – climatização e AQS

Para efetuar o balanço energético de habitações é utilizado o coeficiente de transmissão térmica (U). Este corresponde ao fluxo de calor em regime permanente, que atravessa por unidades de tempo uma área unitária de um elemento da envolvente, por unidade de diferenças de temperaturas entre os ambientes interior e exterior (Nunes, 2014).

O comportamento térmico de uma habitação é, em grande parte, influenciado pelo do U dos seus elementos exteriores (desde paredes, a vãos envidraçados, cobertura, etc.), sendo que a melhoria da eficiência térmica é possível através da troca desses mesmos elementos por outros com melhores coeficientes.

Os fatores climáticos são outro fator importante no estudo do balanço energético. A estação convencional de aquecimento em Portugal corresponde ao período decêndio posterior ao dia 1 de outubro, variando este período consoante a localidade, em que a temperatura média é menor que 15°C. Este período termina no último decêndio anterior a 31 de maio em que a temperatura ainda é inferior a 15°C. A estação convencional de arrefecimento é composta pelos quatro meses de Verão, sendo estes junho, julho, agosto e setembro. Esta estação representa o período de maior probabilidade de ocorrência de temperaturas exteriores elevadas que possam exigir arrefecimento ambiente com pequenas cargas internas (Ministério das Obras Públicas, 1990).

A exposição solar é também um aspeto importante no balanço energético. No inverno, uma área calculada de vãos envidraçados a sul (direção associada a maior radiação solar) permite a entrada de energia solar, sendo possível reduzir substancialmente as necessidades de aquecimento. Contudo no verão, o interesse foca-se em proteger os vãos para bloquear a passagem de radiação, sendo possível através de pala ou portadas (Gonçalves, 2014).

As soluções de aquecimento central e de água sanitárias também influenciam a eficiência energética das habitações, através da eficiência dos equipamentos assim como da matéria-prima utilizada como fonte de energia. A biomassa como fonte de energia, em termos

ambientais, apenas é justificável até um determinado valor de consumo, a nível nacional. Valor este que permita a regeneração sustentável do coberto florestal. Estas soluções são especialmente interessantes no meio rural em zonas em que existem uma abundância de lenha proveniente de podas.

As soluções de aquecimentos central com caldeira a lenha apresentam vantagens como a possibilidade de combinação com sistema de aquecimento de águas sanitárias e o preço da madeira que é relativamente barato sobretudo em regiões rurais. Poderão apresentar, contudo, algumas desvantagens como fraca oferta de lenha, preço acessível em determinados lugares, necessidade de local para armazenamento da lenha e a necessidade manual de reposição da lenha. (Pahl, 2005) A Portaria n.º 349-B/2013 apresenta valores eficiência mínima para as caldeiras a combustível sólido, sendo que para o caso das caldeiras a lenha este valor tem de ser superior a 0,75.

O Decreto-Lei n.º 80/2006 estabelece um consumo de referência de água quente sanitária para utilização em edifícios de habitação de 40 l de água quente a 60°C por pessoa e por dia. Utilizando este valor de referência a habitação em estudo tem um consumo total de água sanitárias aquecidas de 240L.

O Decreto-Lei nº 118/2013 de 20 de agosto correspondente ao Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) permite o cálculo de um valor de referência necessário à preparação das AQS. Toma o valor de referência de 45°C. Este valor considera que a água da rede pública de abastecimento é disponibilizada a uma temperatura média anual de 15°C e que deve ser aquecida à temperatura de 60°C.

3. Metodologia

3.1. Método EcoBlok

O método escolhido para a análise de ciclo de vida foi o EcoBlok. Este método foi escolhido devido à sua simplicidade, possibilidade de melhoria com o desenvolvimento desta dissertação e oportunidade de comparação com outros projetos realizados na FCT. Este método permite avaliar o desempenho ambiental de qualquer produto, projeto ou organização através de um conjunto de seis indicadores ambientais. O método segue uma abordagem de ciclo de vida, permitindo comunicar informação ambiental de uma forma padronizada ao longo da cadeia produtiva, cumprindo os elementos obrigatórios de avaliação de impactes, referidas na ISO 14014:2006. (F. A. R. Ferreira, 2018)

Na conversão dos resultados do inventário de ciclo de vida em ACV, o EcoBlok gera indicadores que correspondem, essencialmente, a pressões ambientais, de acordo com a nomenclatura do modelo *Driving Forces - Pressures - State - Impact - Responses* (DPSIR), desenvolvido pela OCDE e adotado pela Agência Europeia do Ambiente. O DPSIR representa uma estrutura causal que descreve as interações entre a sociedade e o ambiente, segundo as categorias: forças motrizes, pressões, estados, impactes e respostas.

De um modo geral, os indicadores EcoBlok seguem a Equação 1, que realiza o somatório dos produtos entre a quantidade de cada variável (Q) e o respetivo fator de equivalência (feq).

$$I_i = \sum (Q_{ij} \times feq_{ij})$$

Equação 1

I_i - Indicador EcoBlok expresso em unidades equivalentes;
 Q_{ij} - Quantidade mensurável do variável j para o indicador i;
 feq_{ij} - Fator de equivalência do variável j para o indicador i.

Cada indicador EcoBlok agrupa informação acerca de um tipo de pressão ambiental diferente. Apresentando para cada um, critérios diferentes de cálculo. É possível agregar os indicadores através do Índice EcoBlok, convertendo os indicadores na mesma unidade convencional: área global ou m2EB, inspirada no conceito da Pegada Ecológica. Contudo, importa alertar para a margem de erro significativa tipicamente associada a estes processos. O Índice EcoBlok é cerca de duas a três vezes superior à PE tradicional, uma vez que contabiliza poluição que não está incluída no cálculo desta última, ainda que como área virtual.

Cada indicador EcoBlok é calculado através de uma ou mais variáveis, ponderadas por um fator de equivalência (feq). Fator que tem por objetivo contabilizar a sustentabilidade ambiental absoluta associada a cada uma das variáveis, numa lógica de escassez do recurso, ou perigosidade da emissão. Cada fator de equivalência é baseado em critérios objetivos, técnicos ou regulamentares (Joanaz et al., 2010).

3.2. Metodologia geral

Neste trabalho foram abordadas 4 melhorias que permitem reduzir o impacto ambiental de uma família, da sua habitação e terreno. Estas melhorias foram escolhidas no intuito de satisfazer as necessidades familiares, de forma mais sustentável. Duas das melhorias, a compostagem e a produção de alimentos já são realizadas na habitação em estudo, contudo serão agrupadas no grupo “propostas de melhoria”.

Os Temas abordados foram a gestão da água, gestão dos resíduos, produção de alimentos e gestão energética da habitação. As melhorias escolhidas são referentes a cada um dos temas e estão representadas na tabela 3-1.

Tabela 3-1: Temas e técnicas escolhidas

| Aspetos | Situação de referência | Proposta de melhoria |
|--------------------------------|--|--|
| Gestão da água | Toda a água abastecida pela rede | Implementação de captação de águas pluviais para suprir necessidade de água gasta em autoclismos |
| Gestão de resíduos | Deposição dos resíduos orgânicos em aterro | Compostagem doméstica com os resíduos orgânicos |
| Produção de alimentos | Todos os alimentos são comprados | Produção de metade dos alimentos através de agricultura familiar |
| Gestão energética da habitação | Casa com balanço energético fraco | Melhoria do balanço energético da habitação, através de implementação de isolamentos e alteração de fonte de energia |

No trabalho foi estudada a aplicabilidade destas técnicas num caso de estudo. De seguida foi realizada uma ACV para cada técnica. Sendo por último estas ACV comparadas as ACV dos processos mais comuns de suprir as mesmas necessidades, ilustradas na tabela 3-1 como “situação de referência”. Esta comparação foi feita no intuito de entender se as mudanças propostas justificam, e se sim, qual o saldo ambiental poupado. As técnicas estudadas são referentes a aspetos padrão da pegada ambiental familiar. Contudo 3 dos aspetos analisado, apenas são estudados de forma parcial na medida em que as respetivas técnicas tem foco apenas numa necessidade específica. Representado na figura 3-1.

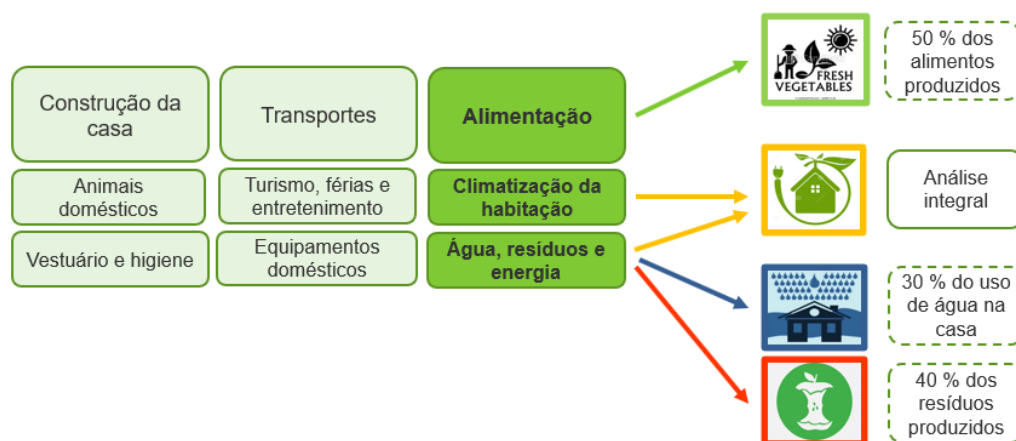


Figura 3-1: Enquadramento das técnicas estudadas nos parâmetros principais da pegada ambiental.

O openLCA foi o software utilizado para o desenvolvimento do trabalho. É um software de acesso livre e de código aberto com foco nas áreas da sustentabilidade e ACV. Permite criar bases de dados e outras metodologias ACV, assim como criar uma nova. Permite criar produtos e sistemas atribuindo unidades através de fluxos e processos.

3.3. Metodologia aplicada a cada técnica

3.3.1. Sistema de captação de água pluviais

Este estudo tem como objetivo analisar a eficiência ambiental de um sistema de captação de águas pluviais (CAP), através da comparação da sua utilização com a do sistema de abastecimento convencional (a rede de distribuição pública). A análise foi feita no intuito de perceber se a implementação de um sistema CAP é ambientalmente justificável, e se sim, qual a melhor forma de a otimizar. Este sistema foi projetado apenas para captação de água com destino a um uso não potável: descargas dos autoclismos. Foi escolhido apenas este uso na medida em que a água não necessita de qualquer tratamento.

Para o estudo foram feitas duas análises: de viabilidade da aplicação do sistema no caso de estudo e análise do ciclo de vida.

Estudo da viabilidade do sistema CAP

O estudo de viabilidade da aplicação do sistema no caso de estudo, teve como objetivo perceber a quantidade de água captada pelo sistema, disponível para dar resposta ao uso pretendido. A principal decisão a tomar neste passo foi escolher a dimensão do depósito. Para tal a metodologia utilizada esta presente na figura 3-2.

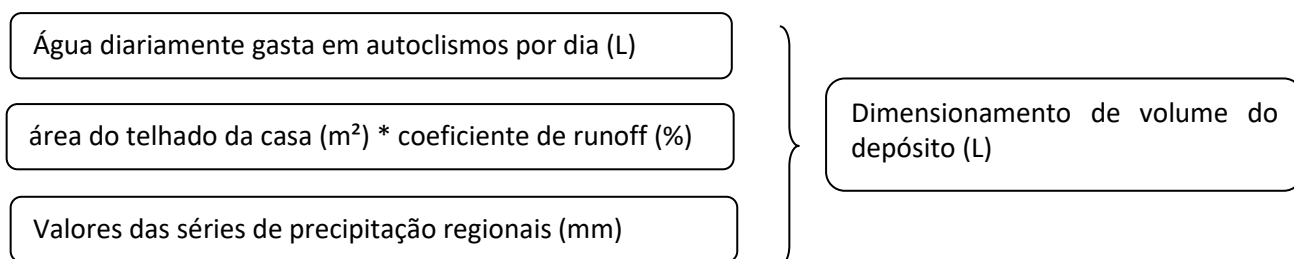


Figura 3-2: Valores chave utilizados para o dimensionamento de volume do depósito.

Para o cálculo da quantidade de água gasta em autoclismos, foi escolhido o valor de 8,5 L por descarga. Valor este, que segundo o Portal da Água, é suficiente para cumprir a sua finalidade, sendo inferior á quantidade de uma descarga convencional (15 L). Foi admitido um valor médio de 3 descargas por dia por habitante. Considera-se que esta valor não varia de forma sazonal.

Para cálculo da capacidade captação de água pelo telhado, foi calculada a área do mesmo através de medições no campo. A este valor foi tido em conta um coeficiente de perdas de 85%, pelo que 15% da água captada no telhado é perdida através de salpicos na junção entre o telhado e a calha. (Filho, 2004)

Foi também feito o estudo da precipitação regional, essencial para perceber a quantidade de chuva disponível no local em estudo e a sua sazonalidade. Para tal foram utilizadas três séries de precipitação regional. Uma referente aos últimos 30 anos. As outras duas referentes a cenários futuros, projetadas com base nos RCP – Representative Concentration Pathway, diferentes linhas de evolução de gases de efeito de estufa ao longo do tempo usadas na modelação climática definidos pelo International Plant Protection Convention no "fifth Assessment Report 2013". Sendo uma desses projeções um cenário grave e a outra muito grave, no que respeita aos futuros valores de emissão de gases de efeito de estufa, com associados impactos no clima. O depósito foi dimensionado para as três diferentes séries de precipitação, com o objetivo de se perceber qual o tamanho máximo do depósito para se armazenar toda a água possível, necessária para o consumo pretendido.

Análise de ciclo de vida do sistema do sistema CAP

A análise de ciclo de vida do sistema foi realizada com objetivo de perceber se os impactos ambientais associados à implementação do sistema de CAP justificam a sua utilização. Tendo em conta o impacto ambiental do fabrico de todo os materiais utilizados na montagem do sistema. Foi analisado se a implementação deste sistema justifica as poupanças de utilização da água potável da rede, para o uso em estudo: água para descargas de autoclismos. A água de rede tem uma pegada ambiental associada, que se deve principalmente ao seu tratamento e transporte. Foi por isso realizada a análise ACV da utilização do sistema de abastecimento de água, para a quantidade de água em estudo. Posteriormente foram comparadas as duas análises ACV. Começou-se por elaborar as metodologias ACV dos processos em estudo, presentes nas figuras 3-4 e 3-5.



Figura 3-4: Metodologia ACV do sistema convencional de abastecimento de água da rede pública.

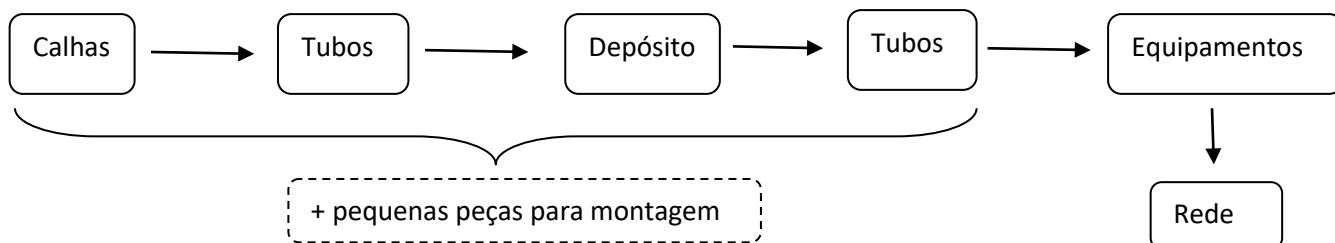


Figura 3-5: Metodologia ACV do sistema CAP.

Foram escolhidos e analisados 3 diferentes tamanhos de depósito na implementação do sistema CAP. O objetivo foi otimizar a relação entre a pegada ambiental do depósito e quantidade de água captada. O volume do depósito tem uma influência direta tanto na capacidade de água armazenada e utilizada, como na pegada ambiental associada à construção do depósito. O volume dos depósitos estudados foram: 13 m³, 8 m³, e 5 m³. O estudo foi projetado para 1 ano de utilização do sistema CAP, mas tendo em conta o período de vida de 30 anos dos depósitos utilizados.

Para a ACV da situação a) ilustrada na figura 3-4 foi utilizado um processo existente na base de dados do Ecoinvent denominado "market for tap water, Europe without Switzerland". Este processo é, de todos os existentes na base de dados disponível, o que melhor se aplica à situação em estudo. O processo começa com a água canalizada sob pressão na estação de tratamento de água sendo depois introduzida na rede de distribuição de água canalizada. A atividade termina com 1 kg de água potável no consumidor, incluindo a rede de distribuição, as perdas na rede. A atividade não inclui a energia utilizada durante a distribuição para pressão adicional (Ecoinvent, 2011).

A situação b) referente ao sistema CAP, representada na figura 3-5, a ACV foi dimensionada através da criação de 3 grupos: "depósito", "tubos peças e calhas" e "água da chuva utilizada". Os 2 primeiros grupos: "depósito", "tubos e tubos peças e calhas" correspondem processos industriais com um impacto ambiental associado. A parcela "água da chuva utilizada" corresponde a um recurso captado da natureza. O processo de montagem do sistema não foi contabilizado, admitindo que a montagem das novas tubagens seria feita exteriormente às paredes, sem a necessidade de realização de grandes obras, tornado esta processo insignificante em termos de pegada ambiental. Os grupos descritos estão presentes na tabela 3-2.

Tabela 3-2: Grupos criados e respetivos processos e flows utilizados na ACV do sistema CAP.

| Parcela | Processo/flows | Proveniente |
|-----------------------|---|-------------|
| Depósito | polyvinylidenechloride production, granulate, GLO | Tecnosfera |
| Tubos, peças e calhas | polyethylene production, high density, granulate | Tecnosfera |
| Água da chuva | Water, rain | Natureza |

A parcela "Tubos, peças e calhas" corresponde ao dimensionamento de todos os equipamentos do sistema que permitem o escoamento da água para o depósito. Sendo estas peças: calhas, tubos, uniões, ângulos, ganchos, e uma união para baixo.

Foram escolhidos materiais disponíveis para venda no site da loja Leroy Merlin. Foram analisadas as suas composições e calculados os seus pesos de acordo com o número de peças utilizadas e comprimento de tubos dimensionado. Em ambos os processos foi tido em conta o fluxo "moldagem por sopro extensível" correspondente ao processo produtivo industrial dos

materiais plásticos. Este fluxo existente no Ecoinvent tem em conta os gastos energéticos do processo e a quantidade de plástico desperdiçada. Representado na tabela 3-3.

Tabela 3-3: Depósitos escolhidos, encontrados no mercado

| Equipamentos | Material | Peso (kg) | Dataset Information (UPR) - Ecoivent |
|-----------------------|-------------------------------|-----------|---|
| (1) Depósito 5 000 L | Polietileno de alta densidade | 191 | polyethylene production, high density, granulate, GLO |
| (2) Depósito 3 000 L | | 145 | |
| Tubos, peças e calhas | PVC | 51 | polyvinylidenechloride production, granulate |

3.3.2. Compostagem

O objetivo desta análise consiste na comparação entre a realização de compostagem doméstica e a deposição da mesma quantidade de resíduos orgânicos no contentor indiferenciado com destino a aterro. Depois de feita ACV destes processos em opneLCA, foram comparados os resultados obtidos. O estudo foi realizado para o período de 1 ano, ou seja, baseados da quantidade anual de resíduos orgânicos produzidos por uma família.

Começou-se por desenhar as metodologias ACV de ambos os processos:

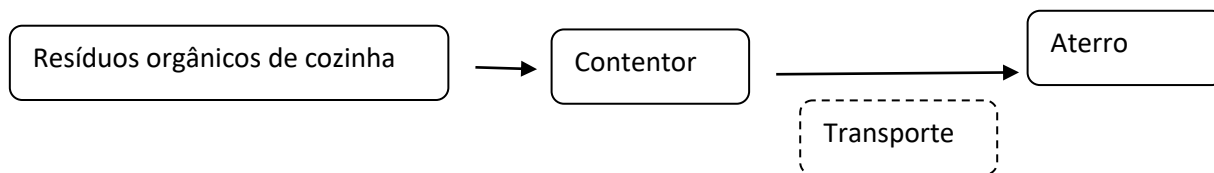


Figura 3-6: Metodologia da análise do ciclo de vida do processo de compostagem doméstica.

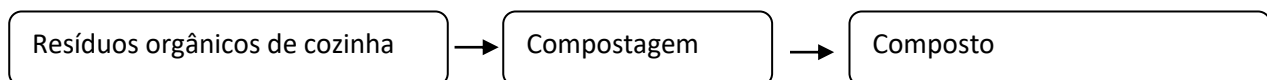


Figura 3-7: Metodologia de análise de ciclo de vida dos processos de gestão dos resíduos.

Análise ACV da deposição dos resíduos orgânicos em aterro

Para esta análise foi utilizado como suporte um processo existente na base de dados referente à ACV da deposição de resíduos orgânicos em aterro, existente no Ecoinvent. Este processo é denominado “disposal, municipal solid biowaste, 22.9% water”. Este processo inclui as emissões a curto prazo dos resíduos para a atmosfera via inceneração de gás produzido no aterro e lixiviação proveniente do mesmo. São também incluídos os encargos do tratamento

do lixiviado a curto prazo (período de 0 a 100 anos) ETAR. Inclui também as emissões de longo prazo para as águas subterrâneas (após falhas de revestimentos de base). Também foi incluído neste processo as necessidade energéticas (Ecoinvent, 2011)

Análise ACV do processo de compostagem doméstica

Para o estudo da ACV do processo de compostagem foi utilizado um estudo processo existente na base de dados do Ecoinvent, uma plataforma de bases de dados de estudos ACV. Este processo é referente ao tratamento de resíduos orgânicos de cozinha e jardim, compostagem doméstica em pilhas, realizado em França. O estudo analisa o processo de compostagem agrupando todos os componentes emitidos para o ambiente e os recursos consumidos.

Para este processo representar o caso de estudo, foram ajustados os valores dos *input* e *outputs* de acordo com a quantidade de resíduos orgânicos de cozinha produzidos por ano, e água colocada no verão para fornecer humidade suficiente ao composto. Para além disso foi calculada uma expansão de sistema referente ao azoto produzido no processo. O processo de compostagem cria um valor, um fertilizante, evitando a necessidade de compra de fertilizantes inorgânicos azotados.

A expansão de sistema, em análise de ciclo de vida, representa a poupança ambiental ganha ao evitar a compra de um produto proveniente da indústria. Este cálculo foi realizado no intuito de juntar à ACV a eficiência ambiental da utilização do composto em invés da compra de uma quantidade equivalente fertilizantes inorgânicos azotados. De entre os 3 principais macronutrientes: azoto, fósforo e potássio, escolheu-se analisar apenas o azoto. Sendo este um dos principais nutrientes necessário ao crescimento das culturas e o que é necessário em maior quantidade.

Tabela 3-4: Valores necessária a análise de ciclo de vida da compostagem doméstica

| Parâmetros | Valor | Referência |
|--|----------|--|
| Peso de 1 m ³ de composto | 474,7 kg | Centro de Agricultura, Alimentação e Ambiente da Universidade de Massachusetts Amherst. (n.d.) |
| Peso de azoto (N) por m ³ de composto | 4,75 kg | Centro de Agricultura, Alimentação e Ambiente da Universidade de Massachusetts Amherst. (n.d.) |

Foi calculado que o volume de 1 m³ equivale a 474,7 kg de composto. Foi também calculado a quantidade de azoto existente no composto produzido, no intuito de perceber a capacidade fertilizante que se obtém através do composto. O valor de azoto existente por metro cúbico de composto é de 4,75 kg. Desse valor apenas 148 g ficam imediatamente disponíveis (112 g sob a forma de nitrato e 113 g sob a forma de amónio). É estimado que 10% do azoto restante é disponibilizado numa futura época de cultivo, sendo que pouco mais de 593 g/m³ está disponível para utilização no primeiro ano de aplicação no solo.

A ureia é um fertilizante de azoto. Contem 46% em azoto. A embalagem é de 5 kg. Essa quantidade permite adubar uma área de 500 m² de qualquer cultura. Foi calculado o valor do número de sacos necessário para equivaler a quantidade de azoto existente no composto doméstico produzido num ano (Garden seeds market, 2020).

3.3.3. Produção de alimentos

Neste parâmetro o objetivo é a comparação de dois processos: a compra de alimentos (produzidos em regime convencional, com uma pegada associada à transformação e transporte) com a produção e consumo próprio dos mesmos alimentos em regime de agricultura tradicional. Para tal a metodologia utilizada foi a criação de dois cabazes alimentares. Um deles feito com os principais alimentos produzidos na quinta no período de 1 ano, e o outro feito com a mesma quantidade de alimentos comprados. Os produtos escolhidos correspondem às principais culturas produzidas na quinta.

Para o estudo foi necessário calcular as quantidades desses alimentos produzidas na quinta no período de 1 ano e analisados os respetivos métodos de produção. Representas nas figuras 8 e 7.

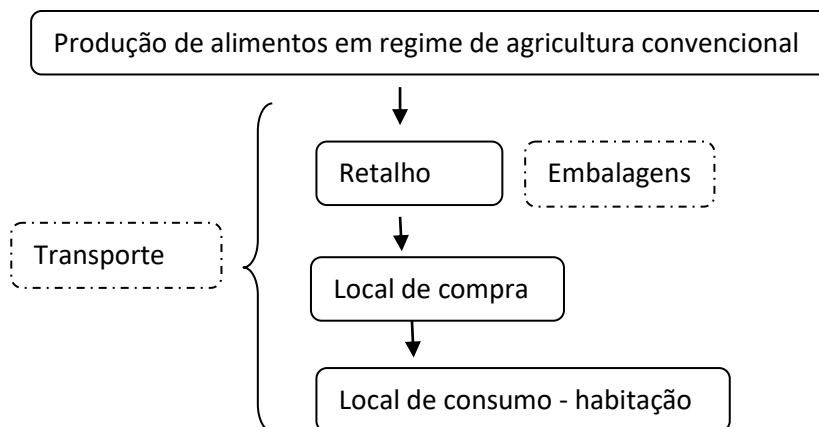


Figura 3-8: Metodologia da análise de ciclo de vida da compra de alimentos de agricultura convencional no mercado

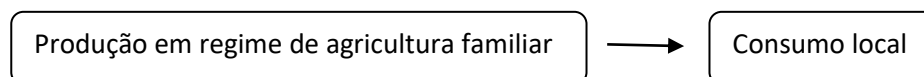


Figura 3-9: Metodologia da análise de ciclo de vida do consumo alimentos produzidos pelo próprio localmente e em regime tradicional

Para o estudo foi necessário calcular as quantidades desses alimentos produzidas na quinta no período de 1 ano e analisados os respetivos métodos de produção. Os produtos escolhidos estão representados na tabela 3-5.

Tabela 3-5: Produtos escolhidos para criação dos cabazes

| Cultura | Parcela de produção |
|--------------------------|---------------------|
| Azeitona | Olival |
| Uva | Vinha |
| Laranja | Pomar |
| Batatas, couve e ervilha | Horta |

Análise de ciclo de vida do cabaz comprado

Para o estudo foram selecionados dois processos: regimes de produção e mercado. Estes processos correspondem a estudos já existentes na base de dados do Ecoinvent. Os processos de produção escolhidos correspondem a uma média mundial dos vários regimes de produção de uma cultura, agrupando os *inputs* necessários e os *outputs* originados. Os *inputs* correspondem a necessidades no processo de produção, tais como, máquinas agrícolas, quantidade de água, de fertilizantes e de produtos fitofármacos. E os *outputs* são referentes aos poluentes emitidos pelas mesmas atividades para o solo, água e atmosfera. Os processos referentes ao mercado correspondem a uma média das distâncias percorridas pelos mesmos produtos até aos pontos de consumo, passando por todas as fases do setor do retalho.

Foi sempre privilegiado para a escolha os processos de produção de países europeus mais próximos de Portugal, sendo que na sua inexistência foram escolhidos os processos respetivos a médias globais (GLO).

Análise de ciclo de vida do cabaz produzido

Para a ACV do cabaz produzido foram somente contabilizados os processos de produção dos mesmos alimentos segundo um regime de agricultura tradicional e familiar. Não foram contabilizados processos de mercado nem de transporte, visto estes produtos serem produzidos localmente e destinarem-se apenas a consumo próprio.

Começou-se por desenhar as metodologias ACV dos processos de produção. Cada processo é referente a uma parcela de produção da quinta, como presente na tabela 3-5. A metodologias de produção das parcelas da horta, pomar, vinha e do olival estão representadas nas figuras 3-10, 3-11, 3-12 e 3-13.

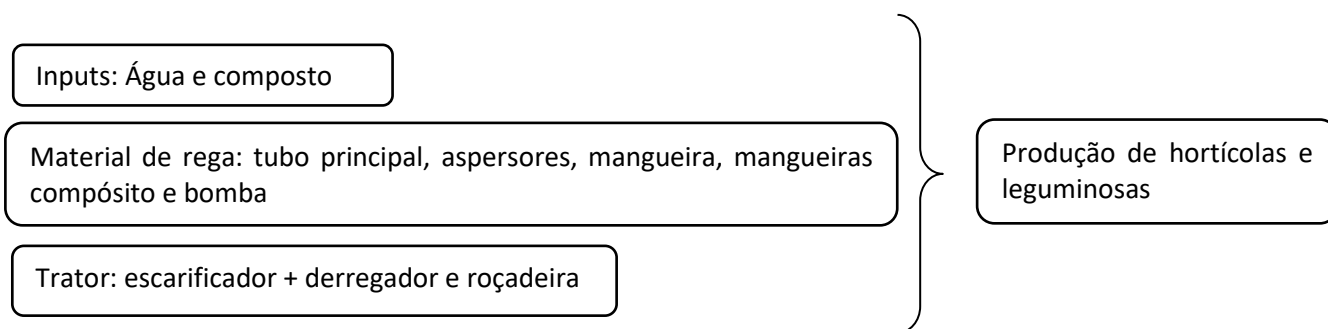


Figura 3-10: Metodologia da análise de ciclo de vida da produção de hortícolas

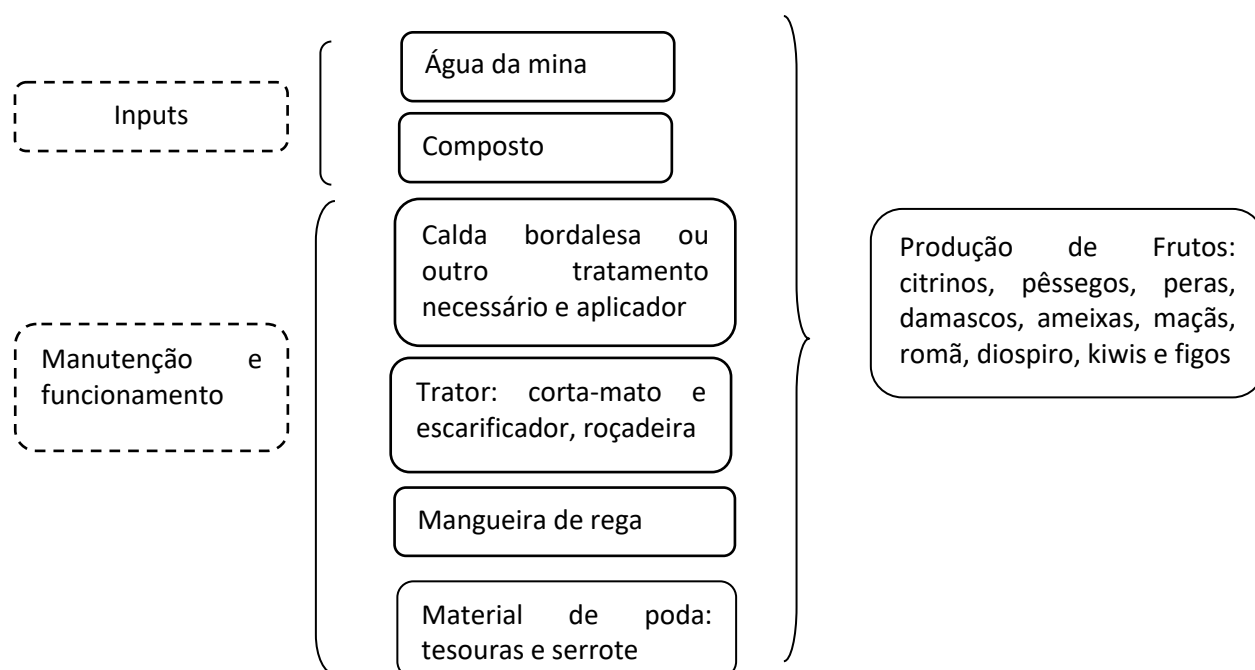


Figura 3-11: Metodologia da análise de ciclo de vida da produção de frutos.

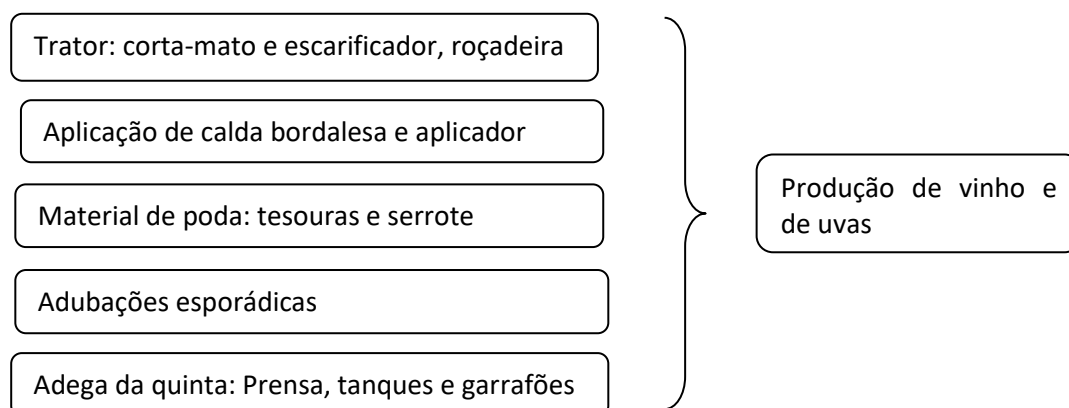


Figura 3-12: Metodologia ACV da exploração da vinha

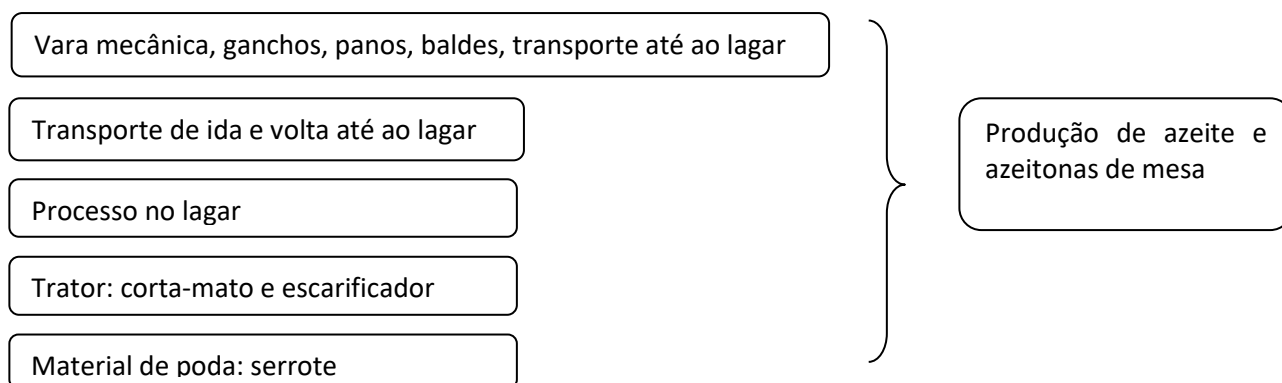


Figura 3-13: Metodologia ACV da exploração do olival.

Para a ACV do cabaz produzido foram somente analisados os processos de produção dos produtos. Foram escolhidos os processos intervenientes na produção, que variam entre cada produto, qualitativamente e quantitativamente.

No processo de produção não foram contabilizadas as ferramentas manuais agrícolas utilizadas: como serrotes, tesouras, enxadas, entre outros. Embora estas ferramenta sejam responsáveis por uma grande parte do processo de produção, decidiu-se excluí-las visto já se encontram todas na quinta (sem necessidade de compra), tem um longo período de vida, e a sua pegada teria um impacto pouco relevante no resultado final.

Tabela 3-6: Processos utilizados na produção do caso de estudo e respetivos fluxos

| Equipamento | Fluxos (Process /Flow) |
|--------------------------------|--|
| Trator com a alfaia derregador | tillage, ploughing, Row |
| Trator com a alfaia corta-mato | tillage, currying, by weeder, RoW |
| Sulfato de cobre | copper sulfate production, GLO |
| Água | Water, unspecified natural origin, PT |
| Composto | Compost – proveniente da flow criada de composto doméstico |



Figura 3-14: Alfaias utilizadas. à esquerda o corta-mato no centro o derregador e à esquerda composto doméstico produzido

3.3.4. Melhoria do balanço energético da habitação

O estudo tem como objetivo analisar, numa perspetiva de ACV, o balanço energético da habitação em estudo no seu estado atual e compará-lo com o balanço resultante da aplicação de melhorias propostas. Estas melhorias estão presentes na tabela 3-7.

A habitação em estudo, na sua situação atual, não possui qualquer tipo de isolamento nos elementos exteriores, paredes ou cobertura. As necessidades de aquecimentos central e AQS são satisfeitas através de uma caldeira a gasóleo. O estudo foi realizado para o período de 1 ano. O período de vida de todos os equipamentos utilizados foi estabelecido como 25 anos. Este valor corresponde ao período de bom funcionamento dos coletores solares. O valor dos períodos de vida dos restantes equipamentos não difere muito desse valor, pelo que, por uma questão de simplificação dos valores foi tomado este valor para todos.

O estudo foi feito para aquecer apenas o piso de baixo, visto este satisfazer as necessidades para 6 habitantes.

Tabela 3-7: Objetivos e medidas de melhoria propostas

| Grupos | Objetivo | Medidas |
|---------|--|--|
| Grupo 1 | Melhoria do comportamento térmico | Aplicação de isolamento nas paredes exteriores, cobertura e teto do primeiro andar |
| Grupo 2 | Melhoria da eficiência ambiental e energética do sistema de aquecimentos central e AQS | Implementação de sistema: caldeira a lenha + coletores solares |

A metodologia utilizada foi a seguinte:

1. Estado do balanço energético da habitação na situação atual e na proposta de melhoria, com o objetivo de calcular a energia primária necessária para aquecimento central e AQS, em ambas as situações;
2. Análise de ciclo de vida das duas situações.

O estudo do balanço energético da habitação foi realizado com base no Regulamento de desempenho energético dos edifícios de habitação (REH) realizado pelo Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico em Ciências da Construção. Este documento destina-se a fornecer suporte na análise o comportamento térmico de habitações.

Para este estudo foram procurados e calculados uma série de valores característicos da habitação em estudo. Valores técnicos referentes a aspetos específicos da habitação em estudo, que podem ser agrupados em:

- Transferência energética pelos elementos exteriores da habitação como: Paredes exteriores, cobertura, pavimento, e vãos envidraçados através dos seus coeficientes térmicos e por pontes térmica lineares.
- Ganhos de energia solar através características dos vãos (composição, direção, exposição);
- Perdas através pontes térmicas lineares.

Foram calculadas para as duas situações as necessidades de energia útil da habitação, de modo que seja mantida uma temperatura de conforto ao longo do ano e para que sejam satisfeitas as necessidades de conforto de AQS tomadas como as de referência.

Através dos valores de energia útil, dos diferentes combustíveis utilizados e do rendimento das caldeiras, foram calculadas as necessidades de energia primária. E por último foram calculadas as quantidades em quilogramas dos combustíveis utilizados em ambas as situações: lenhas e gasóleo.

Análise de ciclo de vida do balanço energético da situação atual da habitação

Para a ACV do balanço energético atual da habitação foi realizada a seguinte metodologia presente na figura 3-15.

Foram contabilizados como *inputs* a quantidade de gasóleo antes calculada, os processos de produção e distribuição (mercado) do combustível e as viagens de carro realizada para a compra do mesmo. Como *outputs* foi criada a flow de referência quantitativa “casa aquecida”, e foram colocadas as emissões de poluentes para a atmosfera, resultantes do funcionamento da caldeira, de acordo com a quantidade de gasóleo usada.

A ACV do processo está ilustrada na figura 3-15.

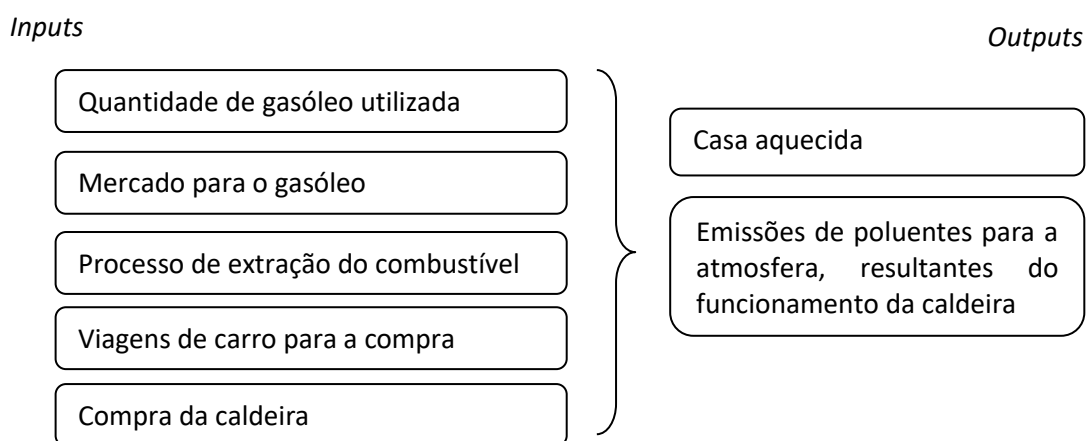


Figura 3-15: Metodologia da ACV do balanço energético da situação atual da habitação

Análise de ciclo de vida do balanço energético da proposta de melhoria

Para a ACV do balanço energético da proposta de melhoria foi utilizada a mesma metodologia. Contabilizou-se como *inputs*:

- o mercado e produção dos equipamentos comprados (coletores solares e isolamento), e a instalação dos coletores;
- a quantidade de lenha utilizada e a energia gasta no seu corte, e o seu transporte;

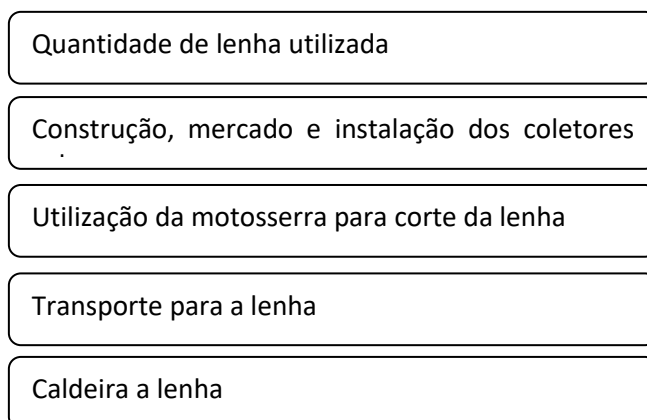
- a produção de uma caldeira a gásóleo, devido à inexistência do processo de produção de uma caldeira a lenha na base de dados.

Para tal foram realizados cálculos como o volume do material isolante aplicado, as horas de funcionamento de uma motosserra para o corte anual da lenha necessária e o transporte da mesma lenha.

Para a definição dos *outputs* foi utilizado um processo existente no Ecoinvente referente às emissões para o ar resultantes do funcionamento de uma caldeira a pellets. Esta escolha deve-se à inexistência do processo de produção de uma caldeira a lenha. Foram eliminados alguns dos componentes estritamente relativos às emissões dos pellets como tentativa de aproximação às emissões reais da lenha. Assim como foram eliminadas as emissões de CO₂, visto estas representam um valor nulo no caso em estudo, na medida em que a lenha utilizada é proveniente de podas florestais.

A ACV do processo está ilustrada na figura 3-16.

Inputs



Outputs

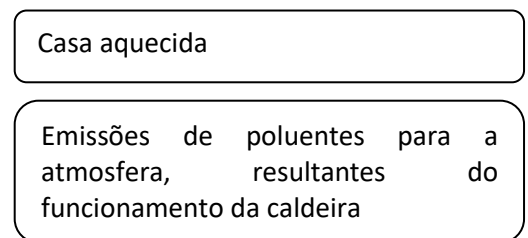


Figura 3-16: Metodologia da ACV do balanço energético da proposta de melhoria da habitação

O cálculo do tempo de funcionamento da motosserra foi calculado com base no valor de rendimento de corte de uma motosserra 21,83 m³ (Batista, 2008).

4. Caso de estudo

4.1. Apresentação do caso de estudo

O caso de estudo consiste numa moradia unifamiliar integrada num terreno agrícola de 2 hectares. O terreno é atualmente utilizado para produção agrícola. É constituído por olival, vinha, pomar e horta. O estudo foi dimensionado para uma família de 6 elementos a habitarem permanentemente na moradia em estudo. Ao dispor da família existem mais dois terrenos florestais anexos que somam na área de 1,5 ha. A moradia esta localizada no município de Castelo Branco em Portugal. A imagem satélite do terreno principal e terrenos florestais anexos podem ser observados nas imagens da figura 4-1.

A habitação em estudo esta ilustrada nas fotografias da figura 19. Situa-se na zona de Castelo Branco, apresenta uma área útil de pavimento de 148 m² e um pé direito de 3,5 m. É contruída com paredes de alvenaria de pedra de xisto, com uma espessura de 60 cm. Os vão envidraçados apresentam vidro duplo com caixa de ar. A casa não apresenta fatores exteriores de ensombramento significativos. Na parede virada a sul, os vão encontra-se protegidos com desvão no intuito que bloquear a entrada de radiação solar na estação de arrefecimento, como se poder observar nas imagens da figura 4-1.



Figura 4-1: Fotografia da habitação e imagem satélite do terreno principal e terrenos florestais anexos.

4.2. Situação de referência

4.2.1. Sistema de captação de águas pluviais

A habitação em estudo, representada na figura 4-2, apresenta uma área de telhado disponível para captação de 143 m². No primeiro andar existem duas varandas disponíveis para a colocação de um depósito para armazenamentos da água captada.

A região de Castelo Branco apresenta uma pluviosidade média anual de 588 mm. Contudo esta precipitação não é distribuída uniformemente de forma sazonal, sendo que no período seco existem 4 meses que apresentam reduzida ou até precipitação nula. (*Clima Castelo Branco: Temperatura, Tempo e Dados Climatológicos Castelo Branco - Climate-Data.Org*, 2021)

No telhado da habitação em estudo, no qual é possível observar líquenes. Estes servem de suporte á acumulação de resíduos como excrementos de pássaros potenciando assim a contaminação microbiológica da água. No caso estudo a água captada terá apenas uma utilização não potável destinada às descargas dos autoclismos. Caso o objetivo fosse a utilização potável, seria necessário para além da compra de um sistema de filtragem, uma limpeza a fundo e mais regular do telhado.



Figura 4-2: Varandas disponíveis para colocação de depósito para águas pluviais

4.2.2. Gestão dos resíduos através de compostagem

Na quinta em estudo são realizados dois tipos de compostagem: Compostagem de resíduos de cozinha e compostagem de matos com estrume animal, esta última em maior escala. Os dois processos serão descritos.

Compostagem doméstica dos resíduos de cozinha

Na habitação em estudo é realizada compostagem doméstica dos resíduos orgânicos de cozinha. Para realizar este tipo de compostagem é suficiente 1 caixa, que sirva de suporte aos resíduos depositados. Esta caixa tem como função dar estrutura, através das paredes, para

que os resíduos não caiam para os lados. Permitindo assim ao composto atingir a altura necessária de 1 metro, fator que contribui para que a temperatura ideal seja atingida. A caixa poderá ser feita de qualquer tipo de madeira reciclada para evitar a compra de madeira nova.

A compostagem doméstica é usualmente realizada em caixas de paletes recicladas, como representado na figura 4-3, um material abundante que é um resíduo de algumas atividades como construção ou transporte de mercadorias. É um material fácil de adquirir sem qualquer custo. Na figura abaixo está representado o sistema utilizado na quinta, feito com paletes e contraplacado reciclados. Consiste uma fila de seis caixas, em que o composto é virado de caixa em caixa até estar pronto a ser usado.

Foram feitas medições da produção média de resíduos orgânicos de cozinha produzidos por uma família de 6 elementos, sendo de se obteve um valor de 5Kg de resíduos por dia. Representado na figura 4-3 na fotografia do lado direito.



Figura 4-3: Demonstração do processo de compostagem e balde de resíduos produzidos diariamente

Ao lado da primeira caixa de enchimento convém ter um monte de palha ou outro qualquer material castanho para ir colocando em cima de cada camada de resíduos orgânicos. No objetivo de fazer prevalecer a relação carbono-azoto necessária.

Compostagem em grande/média escala em pilhas de mato

Na quinta também é realizada a compostagem em grande escala através da montagem de pilhas com camadas intercaladas de erva verde, erva seca e estrume de borrego. Este processo permite fazer composto em grande quantidade através do aproveitamento de um resíduo abundante nas quintas, as ervas espontâneas que têm de ser cortadas no fim da primavera. As camadas de erva verde e fresca têm como função fornecer ao composto azoto e carbono. Sendo que a erva verde fresca quando cortada tem de ser empilhadas no próprio dia, visto o azoto presente nas plantas ser muito volátil. Quando as ervas são cortadas, 80 % do azoto perde-se para a atmosfera em menos de 24 horas (Dowding, 2017). A erva seca basta ficar uns dias ao sol a secar. Caso esta tenha sido cortada depois da floração e criação de semente, é

essencial que o composto atinja a temperatura elevada essencial para que as sementes percam a vitalidade.

Qualquer estrume de origem animal pode ser utilizado para o efeito, visto que a sua principal função na pilha é fornecer uma concentração de microrganismos que permitem a acelerada decomposição das camadas de erva.

4.2.3. Produção de alimentos

Horta

A horta encontra-se numa parcela de 800 m² perto da habitação principal, como é possível observar nas imagens de satélite da figura 4-4. É um local com total exposição solar sendo os únicos fatores de ensombramento 5 árvores de fruto.

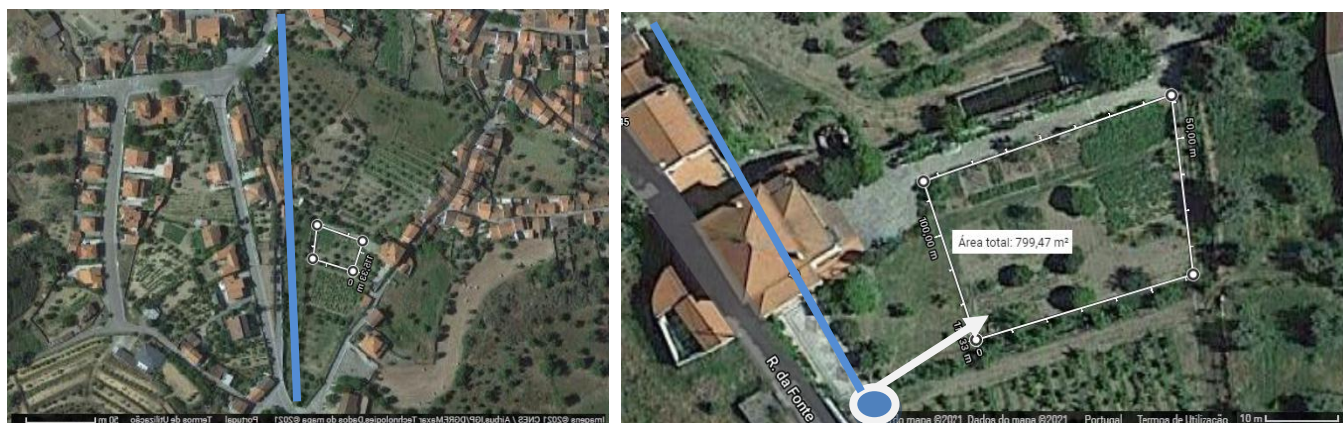


Figura 4-4: Imagem satélite da localização da horta na quinta em estudo

Na figura 4-4 o círculo azul representa um tanque. O ponto de água que abastece as necessidades hídricas da quinta. A linha azul representa um canal de água subterrâneo, 1 metro a baixo do solo. Construído em pedra de xisto, percorre a quinta do ponto de cota mais elevada ao ponto mais baixo. Permitindo o escoamento desta água para tanques, fazendo com que cerca de 80% da rega da quinta seja feita por gravidade. A água, um dos principais recursos necessários à produção agrícola é assim adquirido na quinta com baixo dispêndio energético. Os componentes utilizados para a produção de hortícolas estão ilustrados na figura em baixo.

São produzidos uma grande variedade de hortícolas como batata, couves, cebolas, alhos, pimento, tomate, feijão, abobora entre outros hortícolas mediterrânicos típicos. A figura 4-5 ilustra à esquerda a apanha de batata em finais de junho; no centro uma cultura de cebolas e à esquerda uma cultura de couve-coração.



Figura 4-5: Apanha da batata à esquerda, cultura de cebolas no centro e cultura de couve coração à esquerda.

Pomar

O pomar tem uma área de 2000 m². É composto por duas parcelas principais, um pomar de macieiras com uma área de 200m², e um pomar de laranjeiras com uma área de 1200 m² e as restantes árvores encontram dispersas pela quinta. Esta dispersão atenua a propagação de pragas, contudo dificulta o trabalho de rega. As imagens da figura 4-6 mostram fotografias do pomar.



Figura 4-6: Fotografias do pomar

A quinta possui olival tradicional em 4 parcelas diferentes que agrupam um total de 200 árvores. O olival tradicional é de sequeiro na medida que não é gasta nenhuma água na produção. Também não é efetuada nenhuma adubação das árvores, devido à utilização das mesmas zonas como pasto para as ovelhas que fertilizam assim solo. O olival completa uma

área de 6 600 m². A apanha de azeitona é feita com auxílio da vara mecânica pode ser observada na figura 4-7.



Figura 4-7: Fotografias da apanha da azeitona.

4.2.4. Balanço energético da habitação

A habitação em estudo está ilustrada nas fotografias da figura 4-8. Apresenta uma área útil de pavimento de 148 m² e um pé direito de 3,5m. É contruída com paredes de alvenaria de pedra de xisto, com uma espessura de 60 cm. Os vãos envidraçados apresentam vidro duplo com caixa de ar.

A casa não apresenta fatores exteriores de ensombramento significativos. Na parede virada a sul, os vãos encontram-se protegidos com desvão no intuito que bloquear a entrada de radiação solar na estação de arrefecimento, como se poder observar nas imagens da figura 4-8.



Figura 4-8: À esquerda face da habitação virada a sul e à direita face virada a norte. Fonte: foto tirada pelo autor

As zonas climáticas de Inverno são definidas com base no número de graus- dias (GD) na base 18 °C. As zonas climáticas de verão são definidas a partir da temperatura média exterior correspondente à estação convencional de arrefecimento (Ministério do Ambiente, 2013).

As zonas climáticas do país encontram-se representadas na figura em baixo. A zona da habitação encontra-se assinalada a vermelho. É possível analisar que esta zona situa-se numa das regiões do país com maiores amplitudes térmicas sazonais. A zona em estudo agrupa: I1 e V3.

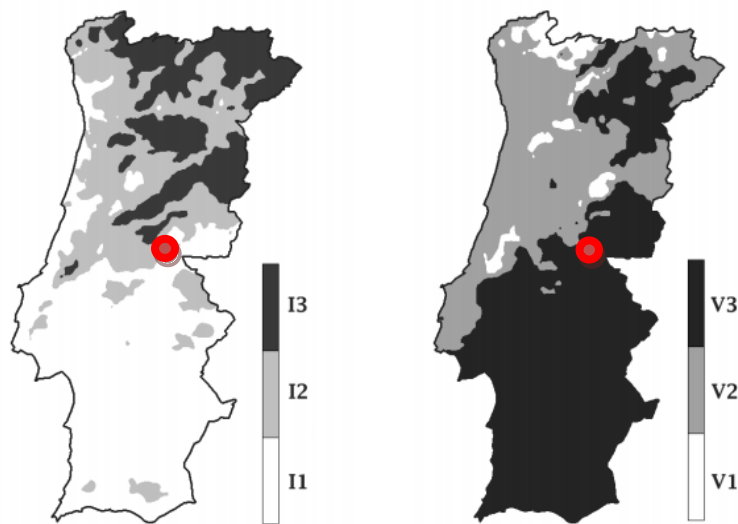


Figura 4-9: Zonas climáticas do Portugal. Representação da zona em estudo.
Adaptado de: (Ministério do Ambiente, 2013)

5. Resultados e discussão

5.1. Sistema de captação de águas pluviais

Foi calculado o valor de 55 mil litros de água gasta em autoclismos por ano pelos 6 habitantes do caso estudo, valor que representa cerca de 30 % do consumo de água de uma casa. Foram realizadas as ACV dos sistemas CAP estudados, tendo em conta a quantidade de água que cada depósito permite utilizar, sendo que a restante água será fornecida pela água da rede. De seguida foi comparado o impacto ambiental entre a utilização dos 3 sistemas CAP estudados e a mesma utilização com abastecimento unicamente feito por água da rede. Foram comparadas as eficiências ambientais de 3 diferentes volumes de depósito: 13 m³, 8 m³, e 5 m³. O volume de 13 m³ de depósito foi calculado como o volume máximo para captar toda a água disponível para ser utilizada, tendo em conta os cenários de precipitação estudados.

Através do estudo dos 3 cenários de sistemas CAP, conclui-se que a diferenças de água armazenada e disponível por cada um deles não é significativa. A principal diferença entre o maior depósito (13 m³) e os depósitos menores (5 e 8 m³) assenta no facto de o maior depósito conseguir em alguns anos armazenar água suficiente de maio para junho de modo a satisfazer total ou parcialmente as necessidades de junho. Ao passo que os depósitos inferiores apresentam um menor número de anos capazes de satisfazer as necessidades no mês de junho. Este intervalo de meses coincide com o fim da época de chuva e início da época seca.

A comparação entre a utilização dos 3 diferentes volumes de depósito e abastecimento unicamente com água da rede pode ser observada no gráfico da figura 5-1.

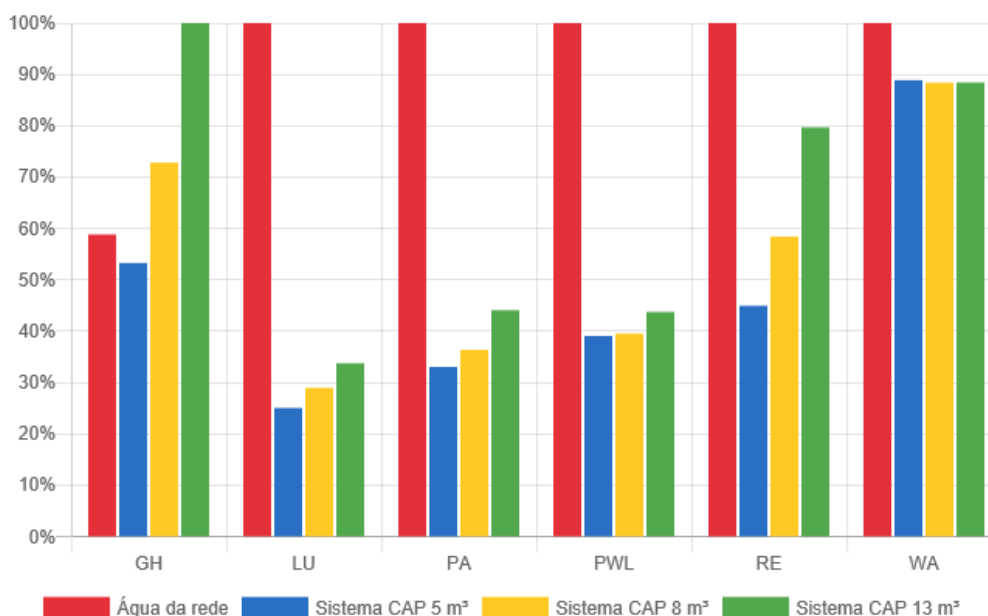


Figura 5-1: Comparação das ACV da utilização dos 3 sistemas CAP e da água da rede – desempenho em relação à situação mais desfavorável (%)

Através do gráfico da figura 5-1 é possível observar que os 3 sistemas CAP superaram a água da rede em todos os parâmetros analisados, à exceção dos gases de efeitos de estufa. Neste parâmetro o único sistema CAP que superou a água da rede foi o correspondente ao depósito de 5 m³. O pior resultado dos sistemas de depósitos maiores (de 8 e 13 m³), neste parâmetro, é explicado pela pegada carbónica associada construção do depósito. Esta representa um impacto contributivo percentual em ambos os processos, de 81% e 73% respetivamente, como representado na figura 6. O Polietileno de alta densidade, material da composição dos depósitos, é um dos plásticos com maior pegada carbónica devido à sua densidade e produção industrial.

Tabela 5-1: Comparação entre os valores finais da capacidade de água utilizada num ano e pegada carbónica anual dos sistemas CAP dimensionados.

| Sistema CAP | Litro de água utilizada (m ³) | kg CO2 eq. |
|-----------------------|---|------------|
| (1) Depósito 13 000 L | 48,2 | 37 |
| (2) Depósito 8 000 L | 48,1 | 23 |
| (3) Depósito 5 000 L | 46,0 | 13 |

A diferença entre a capacidade utilizada entre os 3 depósitos é relativamente reduzida, como ilustrado na tabela 5-1. A diferença de água captada entre o depósito maior e menor é de 2 200 L, sendo um valor pouco significativo na medida em corresponde apenas 4,5% de água captada. Já a pegada carbónica entre o depósito maior e menor é mais do dobro.

Conclui-se que a quantidade de água a mais, disponibilizada pelos depósitos maiores (8 e 13 m³) é pouco significativa e não justifica as suas pegadas carbónicas. O depósito de 5 m³ é o único que supera a água da rede em todos os parâmetros. Através da análise escolheu-se o depósito 5 m³ como a melhor opção para o caso de estudo.

O abastecimento de água no meio rural tem características especiais uma vez que a malha urbana é mais dispersa. Neste sentido a captação de água da chuva como sistema de abastecimento individual é em alguns casos mais vantajoso do ponto de vista económico, arquitetónico e ambiental. (Filho, 2004). O sistema de abastecimento da água da rede publica tem uma pegada ambiental mais elevada no meio rural do que no urbano, na medida em que um menor número de casas que é servido pela mesma extensão de rede é bastante inferior. Sendo que as perdas de água na rede por habitante também são superiores. O processo escolhido referente a uma média europeia tem maior peso na rede que serve a população urbana (visto esta ser superior á rural na Europa) não representando em pormenor o meio rural do caso de estudo, no qual a rede de abastecimento publico de água apresentará uma pegada certamente superior.

5.2. Gestão dos resíduos

Neste capítulo foi feita a comparação entre a ACV do processo de compostagem doméstica realizada com os resíduos orgânicos de cozinha (produzidos anualmente) e a ACV da mesma quantidade de resíduos orgânicos colocados no lixo indiferenciado com destino a aterro. Através da comparação das duas ACV analisadas, “deposição de resíduos em aterro” e “compostagem doméstica” foi obtido o gráfico da figura 5-2. Por análise do gráfico é possível notar a vantagem ambiental que o processo de compostagem doméstica apresenta, superando consideravelmente em todos os indicadores, a deposição em aterro. Os reduzidos impactos nos indicadores gases de efeito de estufa (CH) e poluição do ar (PA) apresentados pelo processo de compostagem, representam reduzidas concentrações CO₂ e metano libertados no processo. O processo de deposição em aterro é responsável por valores muito superiores, associados ao transporte dos resíduos em camiões, e às emissões da própria deposição resíduos em aterro, através das emissões para a atmosfera e lixiviação para os aquíferos. O principal fator contributivo da deposição de resíduos orgânicos em aterro são as emissões de metano para atmosfera, provenientes dos próprios resíduos. (Kong et al., 2015)

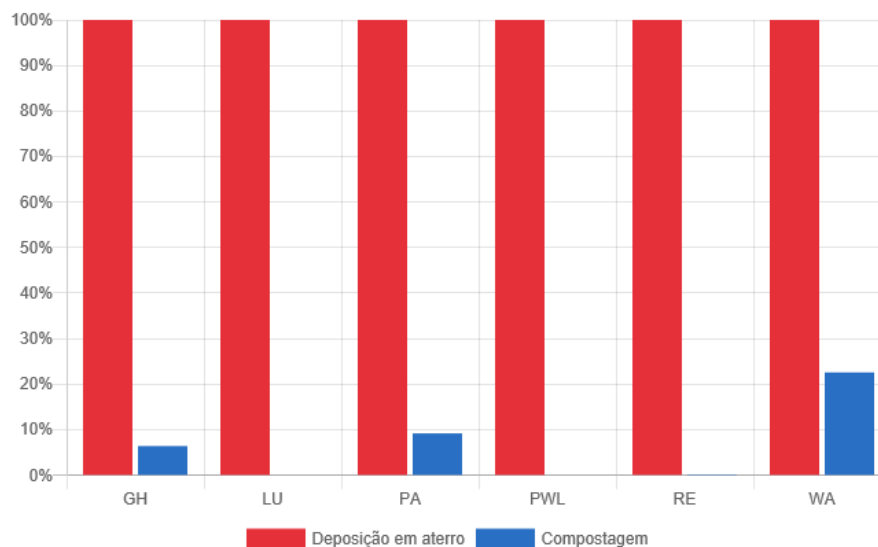


Figura 5-2: Comparação das ACV dos processos de deposição em aterro e compostagem – desempenho em relação à situação mais desfavorável (%)

O processo de compostagem analisado em separado, apresenta grande vantagens como provado anteriormente. Contudo vale a pena analisar este processo de forma holística, na perspetiva em que cria um valor como produto final. O processo tem como produto final o composto, um fertilizante que pode ser utilizado em agricultura, criando um valor. Na ausência deste composto, a pratica mais comum nos dias correntes é a compra de fertilizante inorgânico. No seguimento desta lógica criou-se uma expansão de sistema, uma técnica utilizada em ACV que permite adicionar à análise o quando se poupa em termos ambientais evitando a compra de um produto. Neste sentido foi retirado à ACV da compostagem a

compra de uma quantidade de fertilizante inorgânico azotado equivalente à quantidade de azoto presente no composto produzido. A comparação nesta lógica esta presente no gráfico da figura 7.

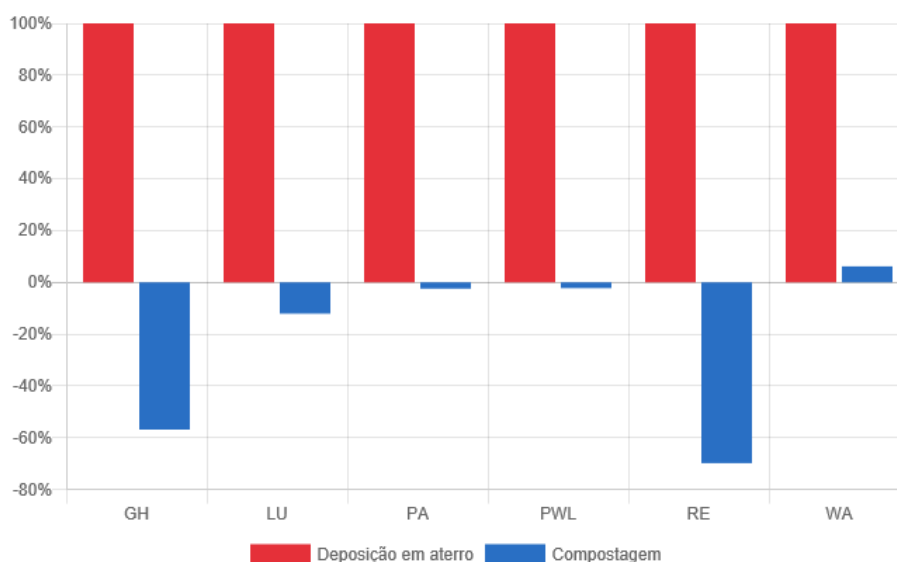


Figura 5-3: Comparação das ACV dos processos de deposição em aterro e compostagem com uma expansão de sistema – desempenho em relação à situação mais desfavorável (%).

Através do gráfico da figura 5-3 é possível analisar que a compostagem dos resíduos supera por muito, uma vez mais, a deposição em aterro em todos os indicadores. Sendo que na maioria dos parâmetros o processo de compostagem passa a ter um impacto positivo no ambiente. Este impacto positivo deriva de o processo ser responsável por deixar haver necessidade de realizar a produção industrial de fertilizante inorgânico equivalente. Foi calculado que a produção anual de 1 200 kg possuem 12 kg de azoto imediatamente disponível a ser utilizado pelas plantas. Valores confirmados pelo estudo da ACV de fertilizantes inorgânicos que conclui que a produção de 1 tonelada de fertilizante de nitrato é responsável pela emissão de 751 kg CO₂ eq (Gaidajis & Kakanis, 2021).

Para representar o aspeto gestão dos resíduos no caso de estudo foi utilizada ACV da compostagem ilustrada na figura 5-2, que analise o processo em separado. No intuito da comparação com a deposição em aterro, faz sentido utilizar o processo analisado em separado. O processo com a expansão de sistema foi contabilizado, no aspeto da produção de alimentos, como o input fertilizante de algumas culturas.

5.3. Produção de alimentos

Foram contruídas as ACV dos cabazes comprado e produzido. Estas foram comparadas obtendo-se o gráfico da figura 5-4. Como já era esperado, o cabaz produzido apresenta uma pegada consideravelmente inferior. O regime de produção tradicional e de agricultura caseira

de pequena escala apresenta uma pegada ambiental baixa, visto não serem utilizados fitofármacos, adubos de síntese, e a maioria das culturas serem de sequeiro.

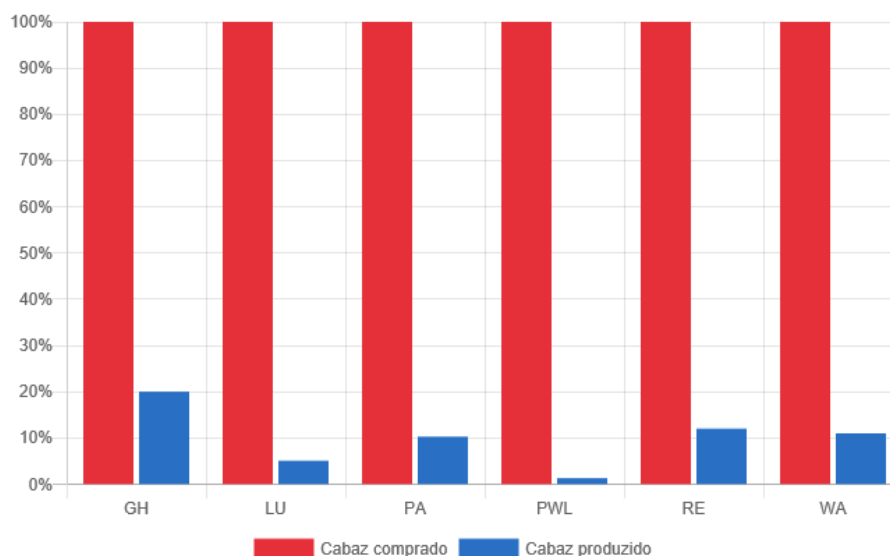


Figura 5-4: Comparação das ACV dos cabazes comprado e produzido – desempenho em

Através do gráfico é possível verificar que impacto do cabaz produzido é inferior em todos os indicadores. A maquinaria utilizada na produção agrícola em ambos os processos foi contabilizada como sendo a mesma (mesmo tipo de trator). O que diferenciou o impacto mais elevado do cabaz comprado no indicador “gases de efeito de estufa”, deve-se essencialmente à pegada carbónica associada ao transporte dos alimentos. Os transportes dos alimentos representam uma contribuição de 45% no cabaz comprado. Este valor é muito superior ao valor aceite na bibliografia como 18% de contribuição da cadeia de transportes na pegada carbónica dos alimentos comprados. (Weber & Matthews, 2008). O valor da mesma contribuição relativo apenas a produtos de origem vegetal é 15% (Wakeland et al., 2012). A possível explicação para esta elevada contribuição dos transportes no cabaz comprado poderá ser explicada pela utilização dos processos de mercado, correspondentes aos km percorridos pelos produtos, terem sido médias globais, na sua maioria. O processo que mais contribui para a pegada ambiental do cabaz de compra é a produção de azeitona, apresentando uma contribuição de 67%.

Devido à inexistência de material disponível na base de dados disponível não foi possível incluir nas produções da quinta alguns aspetos com um impacto ambiental positivo. Aspetos como a armazenagem de carbono no solo, através de aplicação do composto e pastagens dos animais.

A análise feita neste aspeto foi pouco aprofundada devido à ausência de informação na base de dados disponível e à complexidade dos processos envolvidos. A análise apresentou duas principais limitações:

- Descrição insuficiente dos impactos positivos da agricultura tradicional no ambiente, como sequestro de carbono no solo e contribuição para a biodiversidade;

- Utilização de processos de mercado, respetivos às distâncias percorridas pelos produtos, correspondentes a médias globais, devido à inexistência dos mesmos processos para Portugal.

A utilização de processos de mercado global, podem tronar a análise grosseira na medida em que, o impacto médio de, por exemplo, banana é superestimado se o consumidor está presente no Brasil e é fortemente subestimado se o consumidor está presente na Europa. (*EcoQuery - Dataset Details (UPR)*, 2011)

A ACV de produtos agrícolas é muito complexa na medida em que existem muitos *inputs* e *outputs*, que requerem um estudo consolidado para serem corretamente contabilizados. Detalhes como a forma sob a qual o solo é gerido (profundidade de mobilização, compactação, etc.) e as distâncias exatas percorridas para cada produto são essenciais para um estudo sólido (Roy et al., 2009).

5.4. Balanço energético

Com o objetivo de otimizar o comportamento térmico da habitação realizou-se o estudo de uma proposta de melhoria que consiste na aplicação de um isolamento nas paredes. Permitindo assim otimizar o U das paredes. Existem diferentes possibilidade de aplicação do material isolamento, variando no tipo de material utilizado, na sua espessura e na forma de aplicação do mesmo. Podendo ter uma aplicação exterior ou interior às paredes, com ou sem caixa de ar e com diferentes materiais de auxílio. De entre as possíveis combinações existentes foram analisadas as duas melhores soluções de isolamento existentes no mercado, com vista à otimização do U em paredes de alvenaria de pedra. Essas soluções estão presentes na tabela em baixo.

Tabela 5-2: Melhores soluções de isolamento térmico possíveis.

| Isolamento | Material | Espessura (mm) | U (W/m ² /°C) | Referência |
|---------------------|-------------|----------------|--------------------------|-------------------------|
| Isolamento interior | XPS (25-40) | 80 | 0,50 | (Santos & Matias, 2006) |
| Isolamento exterior | | | 0,48 | |

A opção escolhida foi um isolamento interior em Poliestireno expandido extrudido (XPS) com uma espessura de 80 mm, com caixa de ar entre a parede e o isolante, sem interrupção no isolante e com revestimento exterior e interior. Um isolamento exterior com as mesmas características antes referidas apresenta um U para as paredes ligeiramente superior, contudo esta opção não era viável para a habitação em estudo devido aos contornos que algumas estruturas como portas e janelas. Foi também aplicado o mesmo isolamento no teto do primeiro piso. A melhoria do comportamento térmico resultante da aplicação do isolamento pode ser observada na tabela 5-2. Com a aplicação do isolamento as necessidades de energia

útil da habitação foram reduzidas de 13 500 kWh/ano para 7 100 kWh/ano. As necessidades energéticas para aquecimento central foram reduzidas quase em metade apenas pela aplicação do isolamento.

Foi calculado o valor de 5 500 kWh/ano de energia necessária para AQS. Na situação atual este valor é inteiramente abastecido pela caldeira a gásóleo enquanto na proposta de melhoria foi descontado a este valor, 2 800 kWh/ano (valor calculado como energia satisfeita pelos coletores escolhidos).

Desta forma obteve-se uma necessidade total de energia primária na situação atual de 22 353 kWh/ano que corresponde a 2050 L de gásóleo. Obteve-se uma necessidade total de energia primária na proposta de melhoria de 11 565 kWh/ano que corresponde a 5,5 m³ de lenha de pinheiro.

Foram feitas as ACV das duas situações estudadas relativas ao balanço energético da habitação: situação atual da casa e proposta de melhoria. O estudo foi feito para 1 ano, mas tendo em conta o período de 25 anos (período de vida útil de bom funcionamento dos coletores solares).

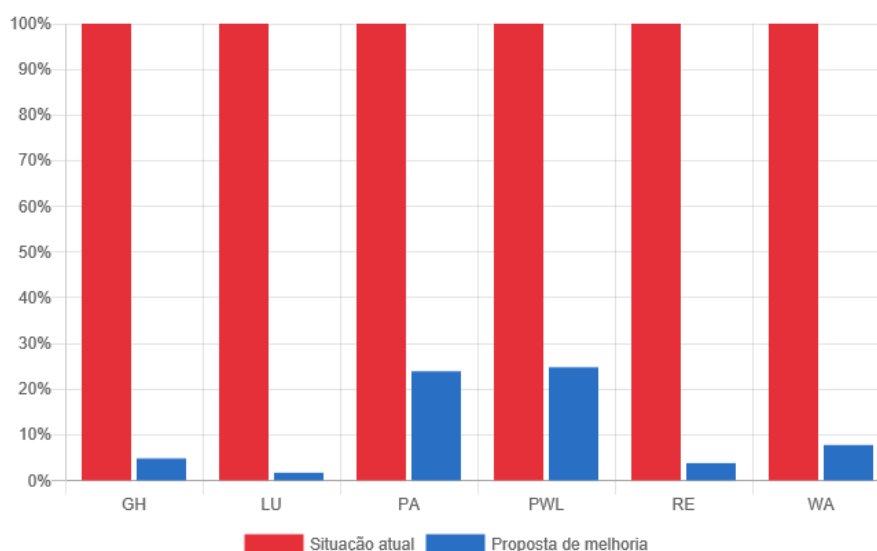


Figura 5-5: Comparação das ACV da situação atual e proposta de melhoria respetivas ao balanço energético da habitação – desempenho em relação à situação mais desfavorável (%).

É possível analisar pelo gráfico, que a proposta de melhoria apresentou resultados consideravelmente melhores que a situação atual. O impacto ambiental da situação atual é explicado pela grande dimensão da casa em estudo, que na sua situação atual, apresenta um mau comportamento térmico devido à sua construção, sendo necessário muita energia para aquecer a casa no inverno. Para além disso o sistema de aquecimento central e AQS através de caldeira a gásóleo é dos menos eficientes em termos ambientais, a medida em que o gásóleo apresenta uma elevada pegada ambiental.

A pegada ambiental do balanço energético da situação atual apresenta uma contribuição de 22% respetiva ao mercado para o gasóleo, 3% referente à compra da caldeira, sendo os restantes 75% provenientes das emissões do funcionamento da caldeira.

A proposta de melhoria apresenta um impacto ambiental muito reduzido. O combustível utilizado, a lenha, é um subproduto de atividade florestal e como tal apresenta um balanço de carbono neutro. A pegada ambiental da compra do material isolante é facilmente compensada pela melhoria significativa que induz no comportamento térmico da casa. A compra dos coletores solares é também compensada pelo decréscimo das necessidades de AQS que induz. A troca do combustível utilizado apresenta o principal fator na redução do impacto ambiental. A pegada ambiental da situação atual da proposta de melhoria apresenta como principal processo contributivo a aquisição dos coletores solares, com uma contribuição de 27%. A aquisição do material isolante e da caldeira apresentam uma contribuição de 14% e o corte e transporte da lenha é responsável por 13%, sendo os restantes 46% associados à emissão da queima da lenha.

O balanço energético da situação atual da casa apresenta uma pegada carbónica muito elevada, quando comparado com a solução de melhoria proposta e com o valor da família média portuguesa para o mesmo parâmetro.

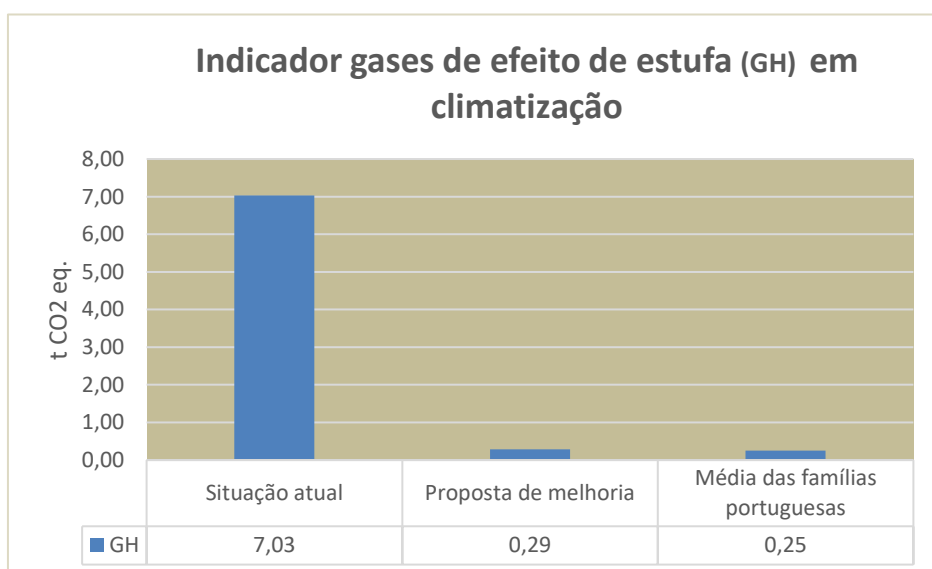


Figura 5-6: Comparação do impacto do indicador - gases de efeito de estufa (GH), na climatização entre as situações estudadas e a média das famílias portuguesas.

5.5. Balanço total

5.5.1. Balanço total das melhorias no caso de estudo

A aplicação das melhorias permitiu a redução da pegada ambiental da família do caso estudo em: 8 toneladas de CO₂ eq; 0,24 hectares de uso do solo; 0,26 toneladas de NO_x eq para o ar; 12 toneladas de N eq para o solo e água; 9 toneladas eq de recursos extraídos, e 810 m³ de água. No gráfico da figura 5-7 é possível analisar as melhorias significativas atingidas com as propostas implementadas, em termos percentuais.

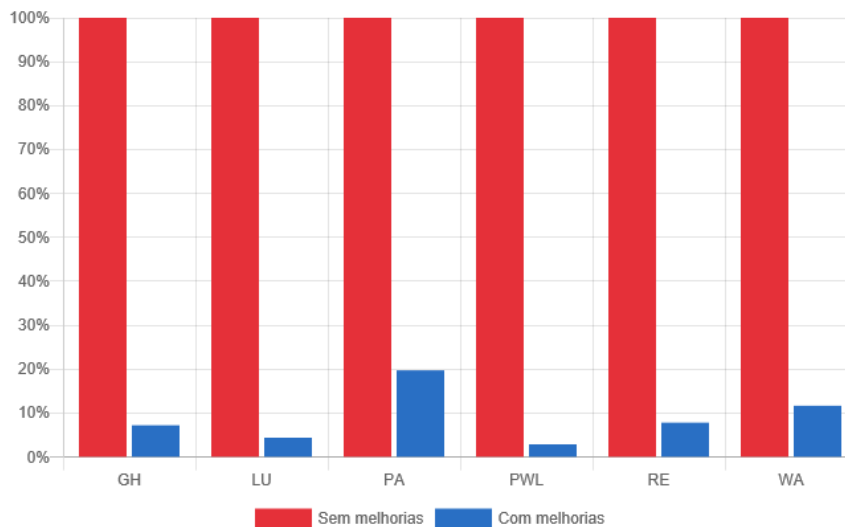


Figura 5-7: Comparação das ACV do caso de estudo com e sem as melhorias- desempenho em relação à situação mais desfavorável (%)

Para entender a influência de cada melhoria nas poupanças ambientais obtidas foi contruído o gráfico da figura 5-8. As melhorias que mais impacto apresentaram nesta redução foram a agricultura familiar e melhoria do balanço energético da casa.

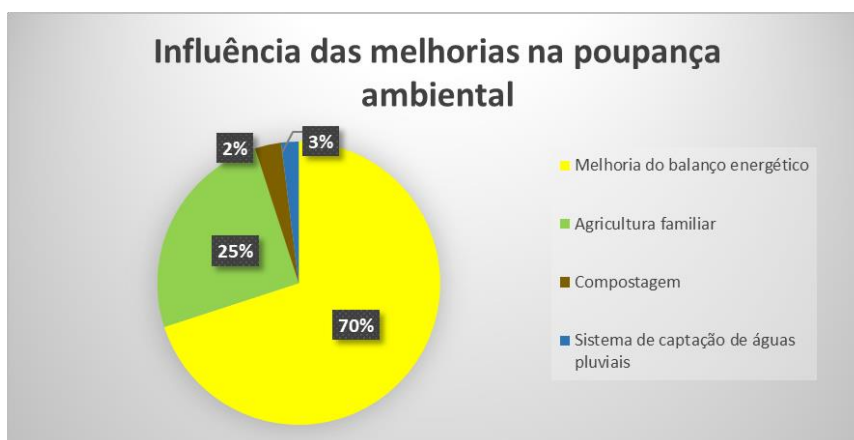


Figura 5-8: Influência percentual das melhorias nas poupanças ambientais atingidas (%).

5.5.2. Relevância das melhorias face à pegada de uma família

Para se compreender a relevância das melhorias estudadas foi realizado um exercício onde foi subtraída, à pegada de uma família portuguesa média de 6 elementos, a poupança ambiental obtida com estas melhorias. Os valores de pegada média foram adaptados de (F. R. Ferreira et al., 2017). Os resultados deste exercício são apresentados na figura 5-9.

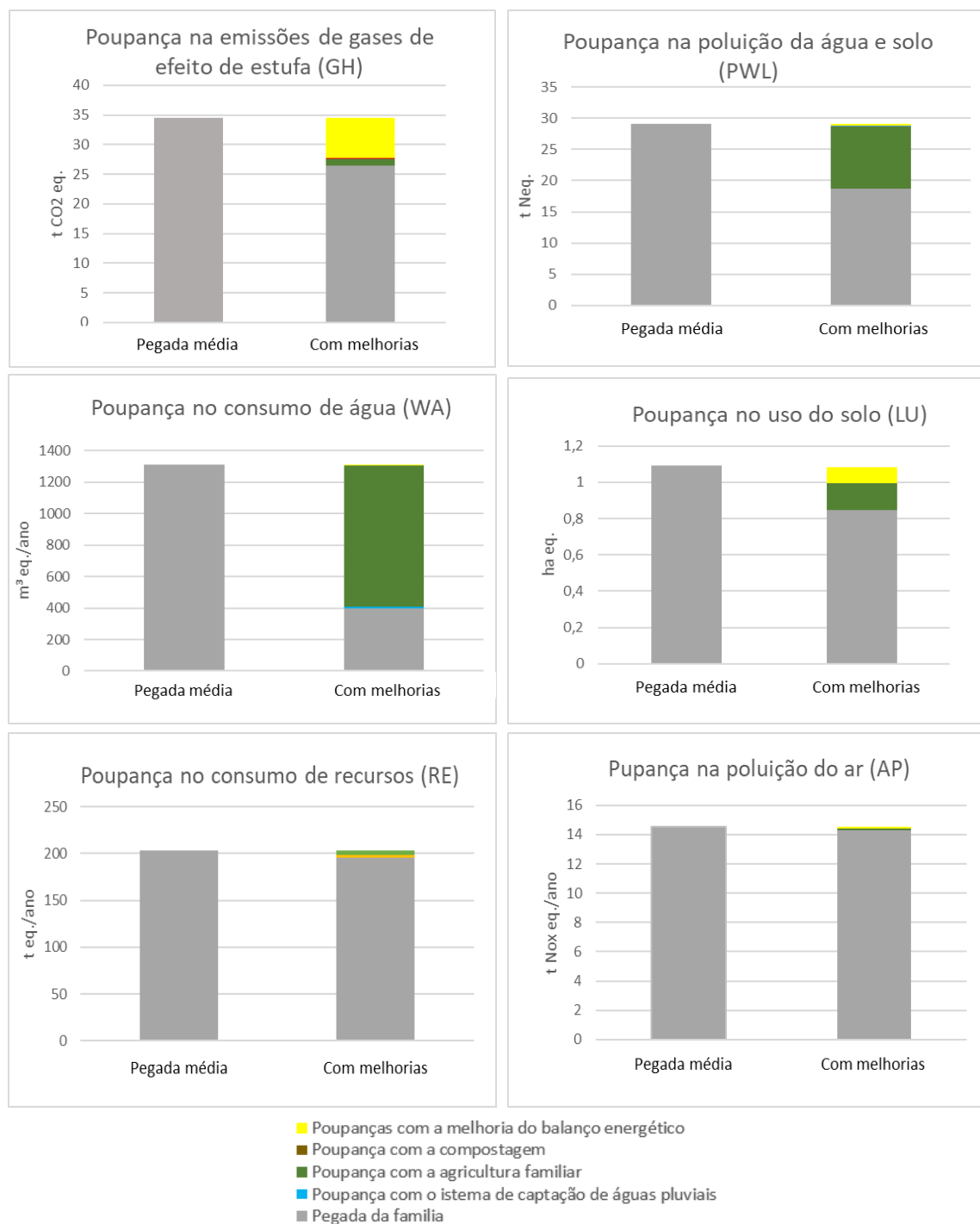


Figura 5-9: Comparação entre as situações antes e depois da aplicação das opções estudadas.

Os indicadores que apresentaram maior redução são os gases de efeito de estufa (GH), poluição da água e solo (PWL) e consumo de água (WA), que são representados pelos primeiros 3 gráficos da figura 5-9. Por análise do gráfico é possível analisar que a melhoria do balanço energético da habitação foi a principal responsável pela redução significativa da pegada da família no indicador GH. Esta melhoria teve por base a substituição e modernização do sistema de climatização antigo, pouco eficiente e que implicava elevados gastos energéticos com um combustível fóssil (gasóleo). A agricultura familiar permitiu a redução significativa dos indicadores PWL e WA. A redução no indicador PWL (poluição da água e do solo) é explicada pelo facto de o regime de produção agrícola familiar ser consideravelmente menos poluente, utilizando matéria orgânica como principal fertilizante. Os regimes de produção de agrícola industrial apresentam valores elevados de poluição da água e solo devido à utilização de fertilizantes químicos. A redução no indicador WA (consumo de água) deve-se também à agricultura familiar e é explicado pelo facto de a maioria das produções analisadas no caso de estudo serem culturas que em agricultura familiar tradicionalmente são produzidas em regime de sequeiro de sequeiro.

O indicador LU (uso do solo) também apresentou uma redução, essencialmente devido contributo conjugado da agricultura familiar e melhoria do balanço energético, sendo também visível no gráfico uma linha castanha correspondente às poupanças através da compostagem.

Os indicadores RE (consumo de recursos) e PA (poluição do ar) não apresentam reduções significativas na pegada ambiental da família média. Os processos de agricultura familiar em estudo envolvem trator, que é um dos principais poluentes na produção agrícola no indicador PA. As emissões neste indicador não diferiram muito entre as duas situações do caso de estudo, na medida que a maquinaria utilizada para o trabalho do solo, foi a mesma no cabaz produzido e comprado. A substituição de gasóleo por lenha na climatização não reduz muito estes indicadores porque continua a existir consumo de recursos e emissão de poluentes para a atmosfera resultantes da queima. Contudo a principal razão que explica a baixa redução nestes indicadores, é o facto que não terem sido analisados no estudo melhorias destinadas aos parâmetros da pegada média que apresentam maior impacto nos mesmos indicadores. Na pegada média de uma família média portuguesa, os parâmetros que mais impactos apresentam nos indicadores RE e PA são os transportes e o consumo de carne (no parâmetro da alimentação), ambos aspetos não analisados no estudo.

6. Conclusões

6.1. Síntese

O estudo teve como foco as 4 melhorias com vista a redução da pegada ambiental da família em estudo: sistema CAP, compostagem, agricultura familiar e melhoria do balanço energético da habitação. A agricultura familiar e a compostagem são medidas que já estão implementadas no caso de estudo (antes do presente estudo). Contudo o estudo permitiu analisar estas técnicas, percebendo as suas principais vantagens e impactos ambientais. Para restantes 2 técnicas (melhoria do balanço energético e sistema CAP), foi também feita a sua análise e estudo e projeto para a sua aplicabilidade. O estudo é, portanto, realizado segundo uma vertente prática, na medida em que analisa um caso de estudo real.

O estudo realizado permitiu entender o impacto das melhorias, relativamente à situação inicial da habitação. Permitiu também analisar o impacto das mesmas na pegada média de uma família portuguesa de 6 habitantes.

Foi demonstrado que a eficiência ambiental da implementação do sistema CAP, é otimizada através de um depósito de 5 000 L. O que permite dar resposta ao consumo de água para autoclismos, durante o período de 8 meses do ano. Esta melhoria aplicada ao abastecimento de água da habitação permite reduzir a pegada ambiental no caso de estudo, contudo é pouco representativa na pegada total de uma família média portuguesa. Esta medida poderá apresentar um potencial cada vez maior, no futuro cada vez mais ameaçado pela escassez de água.

O processo de compostagem, dos resíduos orgânicos de cozinha produzidos anualmente, em alternativa à deposição da mesma quantidade de resíduos em aterro, demonstrou melhorias significativas. Contudo esta poupança demonstrou-se pouco significativa na melhoria da pegada ambiental das famílias portuguesas. Mesmo assim a compostagem é um processo interessante, sobretudo quando associada a uma componente agrícola, na medida em que não necessita de qualquer custo para ser aplicada, criando também um composto que poder ser utilizado como fertilizante.

A produção dos alimentos consumidos demonstrou ser muito eficiente quando comparada com a compra dos mesmos alimentos. Principalmente nos indicadores dos gases de efeito de estufa, poluição da água e solo e consumo de água. Conclui-se que o consumo de bens alimentares apresenta um elevado impacto na pegada de uma família e que o consumo de uma quantidade dos alimentos produzida localmente e através de um regime de agricultura caseira permite reduzir significativamente o impacto ambiental da alimentação.

A habitação em estudo apresenta uma dimensão bastante superior à média das casas em Portugal. A habitação na sua situação atual apresenta elevadas necessidades energéticas para aquecimento, tanto devido ao seu elevado volume como ao seu deficiente comportamento térmico. A casa carece de isolamento térmico e apresenta um sistema de aquecimentos central e de águas sanitárias com uma elevada pegada ambiental, devido ao combustível utilizado (o gasóleo). Posto isto, o impacto da climatização na habitação é bastante superior à pegada média das famílias portuguesas. As melhorias propostas permitiram reduzir bastante

sua pegada ambiental, sendo o processo que mais contribuiu para a melhoria da pegada ambiental atual da habitação.

Para o conjunto de funcionalidades estudadas, relativamente à situação de partida no caso de estudo (situação de referência), as opções mais sustentáveis permitem: a redução de emissão de gases de efeito de estufa em 93% e da poluição do ar em 80%, principalmente devido à melhoria da eficiência energética da casa; a redução da extração de água em 84% e da poluição da água e solo em 97%, principalmente graças à produção agrícola familiar e compostagem; e a redução do uso do solo em 95% e da extração de recursos em 92%, pelo efeito conjugado da eficiência energética, agricultura familiar e compostagem.

Conclui-se que a aplicação das técnicas estudadas, cumpriram a sua função e reduziram consideravelmente a pegada ambiental da família em estudo.

6.2. Desenvolvimentos futuros

Para um estudo futuro seria interessante:

1. Analisar os aspetos da pegada de forma integral, no intuito de facilitar a comparação com valores da bibliografia. Por exemplo melhoria da compostagem, em vez de serem analisados apenas os resíduos orgânicos, seriam considerados todos os tipos de resíduos. No caso de estudo como metade dos alimentos são autoproduzidos, tal implica um decréscimo da quantidade de resíduos produzidos (resíduos de embalagens) comparativamente à quantidade de uma família média. Este facto não foi tido em conta no estudo. Desta forma, criar-se-iam resultados mais sólidos que mais facilmente seriam comparados com os valores da pegada média de uma família portuguesa.
2. Analisar todos os aspetos de consumo de uma família que siga o estilo de vida sustentável abordado no estudo, no seguinte da mesma lógica de integridade descrita anteriormente. O estilo de vida abordado no estudo merecia ser abordado de forma completa no objetivo de facilitar a sua comparação com o impacto da família média.
3. Partir de uma situação atual mais próxima da família média. Por exemplo na análise do balanço energético da habitação partiu-se de uma situação inicial com impacto ambiental bastante superior à média das famílias portuguesas.
4. Seria interessante realizar, como complemento, um estudo dos custos de vida, no intuito de estudar a viabilidade económica das medidas propostas e de facilitar a tomada de decisão através da relação: custo-benefício ambiental.

Bibliografia

- Alim, M. A., Rahman, A., Tao, Z., Samali, B., Khan, M. M., & Shirin, S. (2020). Feasibility analysis of a small-scale rainwater harvesting system for drinking water production at Werrington, New South Wales, Australia. *Journal of Cleaner Production*, 270, 122437.
- Baptista, J. M., Almeida, M. D. C., Vieira, P., Silva, A. C. M., Ribeiro, R., Fernando, R. M., Serafim, A., Alves, I., & Cameira, M. D. R. (2001). Programa nacional para o uso eficiente da água. Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território - Instituto da Água. Lisboa. 212.
- Batista, H. (2008). *Estudo de tempo e rendimento da motosserra considerando fatores ergonômicos numa exploração na amazônia central*. Dissertação para obtenção de do Título de Mestre em Ciências de Florestas Tropicais na área de concentração Manejo Florestal, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - Universidade Federal do Amazonas.
- Centro de Agricultura, Alimentação e Ambiente da Universidade de Massachusetts Amherst . Utilização de composto e fertilidade do solo. (n.d.). URL: <https://ag.umass.edu/vegetable/fact-sheets/compost-use-soil-fertility>. Consultado a 20/06/2021.
- Climate-Data.Org. (2020). *Clima Castelo Branco: Temperatura, Tempo e Dados climatológicos Castelo Branco - Climate-Data.org*, URL: <https://pt.climate-data.org/europa/portugal/castelo-branco/castelo-branco-4315/>; consultado a 20/06/2021).
- Coleman, E. (2018). *The New Organic Grower, 30th Anniversary Edition*. London UK: Makenna Goodman. 314.
- Conceição, P. (2020). *The Next Frontier Human Development and the Anthropocene, Human Development Report 2020*. In UNDP: New York, USA: 2020. 412.
- Cucurachi, S., Scherer, L., Guinée, J., & Tukker, A. (2019). Life Cycle Assessment of Food Systems. *One Earth*, 1(3), 292–297.
- Dowding, C. & Hafferty, S. (2017). *No dig Home & Garden*. United Kingdom: Permanent Publications Hyden House Ltd. 224.
- Ecoinvent. (2020). *Dataset Details (UPR)*: <https://v371.ecoquery.ecoinvent.org/Details/UPR/b895c2a2-0a3b-46e3-8447-42a55e48a7ef/8b738ea0-f89e-4627-8679-433616064e82>. Consultado a 20/06/2021.
- Ewing, B., Reed, A., Rizk, S. M., Galli, A., Wackernagel, M., & Kitzes, J. (2008). Calculation methodology for the national footprint accounts, 2008 edition, Global Footprint Network.
- Ferreira, F. A. A. (2012). *Referenciais para os níveis de consumo de água sustentáveis em edifícios de habitação*. Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de mestre em Engenharia Civil - Especialização em construções civis na Universidade do Porto.

- Ferreira, F. A. R. (2018). *Análise da pegada ambiental como função dos padrões de consumo de famílias portuguesas*. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia do Ambiente, Perfil de engenharia de Sistemas Ambientais, Faculdade de Ciências e Tecnologia - Universidade Nova de Lisboa.
- Ferreira, F.R., Melo, J.J., Galvão, A., Sousa, M.J.F. (2019). The environmental footprint according to consumption patterns of Portuguese families. In: Nanjing University (Ed): *"Sustaining resources for the future", Proceedings of the 25th International Sustainable Development Research Society Conference (ISDRS 2019)*, 658-665. Nanjing, China, 26-28 June 2019.
- Filho, A. M. (2004). *Alternativas de telhados de habitações rurais para captação de água de chuva no semiárido*. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Agrícola na Universidade Federal de Campina Grande - Centro de Ciências e Tecnologia.
- Gaidajis, G., & Kakanis, I. (2021). Life cycle assessment of nitrate and compound fertilizers production - a case study. *Sustainability*, 13(1), 148.
- Garden seeds market. (2020). *Ureia - fertilizante de nitrogênio multiuso - Planta® - 5 kg - - Garden Seeds Market | Frete grátis*. URL: <https://gardenseedsmarket.com/ureia-fertilizante-de-nitrogenio-multiuso-planta-5->. Consultado a 20/06/2021.
- Gonçalves, S. M. (2014). *Quantificação do balanço térmico anual através de vãos envidraçados*. Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de Mestre em Engenharia Civil - Especialização em Construções na Universidade do Porto.
- Hajilou, F., Yazdkhasty, B., & Alizadeaghdam, M. B. (2014). The Relationship between Consumer Life Style and Ecological Footprint. *Journal of Environmental Studies*, 40(3), 589-602.
- ISO-Norm, I. (2006). Environmental Management—Life Cycle Assessment—Principles and Framework ISO 14040: 2006. *ISO: Geneva, Switzerland*, 157.
- Jelliffe, S. E. (1939). Sigmund Freud. *British Medical Journal*, 2(4118), 1165.
- Kong, D., Shan, J., Iacoboni, M., & Maguin, S. R. (2012). Evaluating greenhouse gas impacts of organic waste management options using life cycle assessment. *Waste management & research*, 30(8), 800-812.
- Kumarappa. B. (2005). The story of my life - By M.K. Gandhi. In *Forbes*. Navajivan Trust. Ahmedabad. 107.
- Martins, M. (2013). *Contrastes da nossa terra*. Lisboa: Edições Colibri. 75.
- Matthews, J. A. (Ed.). (2013). *Encyclopedia of Environmental Change: Three Volume Set*. Sage. 1370.
- Melo, J.J., Galvão, A., Margarido, R., Sousa, M.J.F. (2010). EcoBlok – a label to transfer standard environmental information along the product chain. Working paper. CENSE-FCT-UNL. 16 p.
- Melo, J.J., Pegado, C. (2002). EcoBlock – A method for integrated environmental performance evaluation of companies and products (construction case-study). Proceedings of the Fifth

- International Conference on EcoBalance, 399-402. The Society of Non-traditional Technology, Tsukuba, Japan. November 2002.
- Ministério das Obras Públicas, T. e C. (1990). *Decreto-Lei n.º 40/90* (pp. 490–504). Diário da República n.º 31/1990, Série I de 1990-02-06.
- Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia, Direção-Geral de Energia e Geologia (2013). Despacho nº 15793-F. *Diário Da República*, 2.ª série(234), 26–31.
- Nunes, P. M. E. (2014). *Comportamento Térmico De Diferentes Soluções De Envolvente Opaca Vertical Em Edifícios*. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil no Instituto Superior Técnico de Lisboa.
- Odey, G., Adelodun, B., Kim, S. H., & Choi, K. S. (2021). Status of Environmental Life Cycle Assessment (LCA): A Case Study of South Korea. *Sustainability*, 13(11), 6234.
- ONU. (2018). UN Climate Change Annual Report 2018. United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC): 2019.
- Pahl, G. (2005). Wood- fired Central Heat. *The Mother Earth News Guide To Homei*. 114-118
- Papa Francisco (2015): Carta Encíclica Laudato Sí – O Cuidado da Casa Comum. Libreria Editrice Vaticana, maio 2015.
https://www.vatican.va/content/francesco/pt/encyclicals/documents/papa-francesco_20150524_enciclica-laudato-si.html
- Parlamento Europeu e do Concelho. (2021). Regulamento (UE) 2021/1119 do Parlamento Europeu e do Concelho de 30 de junho de 2021. Jornal Oficial da União Europeia. (CE) n. 2021(2), 1–17.
- Richard, T. L., Veeken, A. H., De Wilde, V., & Hamelers, H. V. M. (2004). Air-filled porosity and permeability relationships during solid-state fermentation. *Biotechnology progress*, 20(5), 1372-1381.
- Roy, P., Nei, D., Orikasa, T., Xu, Q., Okadome, H., Nakamura, N., & Shiina, T. (2009). A review of life cycle assessment (LCA) on some food products. *Journal of food engineering*, 90(1), 1-10.
- Santos, C. A. P. dos, & Matias, L. (2006). Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios. Informações Científicas e Técnicas. LNEC: 2006. 171.
- Siccardi. C. (1987). *Madre Teresa - tudo começou na minha terra com cartas à minha família*. Paulus. São Paulo, Brazil. 17.
- Sousa, S. B. D. (2015). *Aproveitamento da água da chuva para fins não potáveis em zonas urbanas: estudo exploratório no Pólo II da Universidade de Coimbra*. Dissertação para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.
- Veal, A. J. (1993). The concept of lifestyle: A review. *Leisure Studies*, 12(4), 233–252.
- Wakeland, W., Cholette, S., & Venkat, K. (2012). Food transportation issues and reducing carbon footprint. In *Green technologies in food production and processing* (pp. 211-236). Springer, Boston, MA.

Weber, C. L., & Matthews, H. S. (2008). *Food-Miles and the Relative Climate Impacts of Food Choices in the United States*. 42(10), 3508–3513.

Zalasiewicz, J., Williams, M., Haywood, A., & Ellis, M. (2011). The anthropocene: A new epoch of geological time? *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 369 (1938), 835–841.

Anexos

1. Metodologia teórica do método Ecoblok

Esta metodologia foi retirada do trabalho de Filipa Alexandra Ralha Ferreira: “Análise da pegada ambiental como função dos padrões de consumo de famílias portuguesas”. Uma Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia do Ambiente, Perfil de Sistemas Ambientais.

Joanaz de Melo

Indicadores EcoBlok

Captação de água (WA – Water abstraction)

Este indicador mede a intensidade do uso de água e tem em consideração a quantidade extraída, a sua origem e a disponibilidade hídrica. É importante, para o seu cálculo, o consumo real de água e a intensidade de exploração dos recursos no local onde são extraídos. O cálculo do fator de equivalência é o resultado do quociente entre a quantidade de água captada e a quantidade de extração sustentável (Equação 2).

$$feq = \frac{Q_{\text{extraída}}}{Q_{\text{sustentável}}}$$

Equação 1

$Q_{\text{extraída}}$ – Quantidade total do recurso que foi extraída (m³/ano)

$Q_{\text{sustentável}}$ – Quantidade utilizada para que seja garantida a sustentabilidade ambiental do recurso (m³/ano)

Na ausência de dados sobre a quantidade sustentável é utilizada a intensidade de exploração (IE), ou seja, calcula-se a razão entre a quantidade de água captada e a quantidade naturalmente disponível à escala da bacia (Equação 3).

$$\text{Intensidade de exploração} = \frac{Q_{\text{extraída}}}{Q_{\text{natural}}}$$

Equação 2

Qextraída – Quantidade total do recurso que foi extraída (m3/ano)

Qnatural – Quantidade naturalmente existente do recurso (m3/ano)

Segundo a OCDE, uma intensidade de exploração superior a 10% pode ser ambientalmente insustentável (OCDE, 2017) e, portanto, qualquer exploração acima desse nível é penalizada. Os factores de equivalência para a captação de água encontram-se na tabela seguinte.

Tabela 0-1: Factores de equivalência para o indicador captação de água

| Qextraída / Qsustentável | Intensidade de exploração | feqWA |
|--------------------------|---------------------------|--------------------------|
| ≤ 1 | ≤ 10% | 1 |
| > 1 | > 10% | Qextraído / Qsustentável |

A informação necessária para calcular os fatores de equivalência foi obtida a partir da base de dados AQUASTAT da FAO e a quantidade de água extraída usada no cálculo foi retirada das tabelas de consumo de água da *World Input-Output Database* (WIOD), usando as quantidades referentes a *blue water* (WIOD, 2016; FAO, 2016).

Extração de recursos (RE – Resource extraction)

O RE determina a quantidade de materiais não renováveis consumidos numa atividade ou no ciclo de vida de um produto. Reflete a degradação de recursos naturais, como a perda de biodiversidade, a erosão ou impactes associados ao transporte de materiais (Pegado, Melo, & Ramos, 2001).

O EcoBlok não distingue entre recursos biológicos e minerais porque ambos representam a apropriação de recursos naturais para uso humano. O fator de equivalência tem em conta a renovabilidade e disponibilidade dos recursos, penalizando o uso de recursos mais escassos da seguinte maneira:

- Um recurso com uma duração de *stock* de 100 anos ou mais (p.ex. produtos agrícolas, calcário) é atribuído um feq igual a 1;
- Para um recurso com uma duração de *stock* inferior a 100 anos (p.ex. madeira de florestas primárias, petróleo), o feq atribuído é a razão entre 100 e a duração do *stock* em anos;
- Materiais reciclados ou reutilizados têm um feq igual a zero.

O horizonte de 100 anos está próximo o suficiente do período intermediário que afetará significativamente os filhos e netos da geração atual, ou seja, é possível considerar a escassez, considerando o limite razoável de previsibilidade de cenários tecnológicos ou sociais.

Considera-se como *stock* existente os recursos disponíveis passíveis de serem explorados de forma legal, economicamente rentável e ambientalmente aceitável.

A tabela seguinte apresenta os factores de equivalência para este indicador.

Tabela 0-2: Tabela 3.6 - Fatores de equivalência para o indicador extração de recursos.

| Duração do stock | feqRE |
|------------------|---------------------------------------|
| ≥ 100 anos | 1 |
| < 100 anos | 100 / anos de duração do <i>stock</i> |

Uso do Solo (LU – Land use)

O uso do solo tem em conta a área ocupada em função do seu valor ecológico e social. Apesar do solo não ser consumido pelas atividades, a sua utilização para um determinado uso pode inviabilizá-lo para outros usos, presentes ou futuros.

A importância ecológica do solo é atribuída através de um fator de equivalência presente na Tabela 3.7. Deste modo, o feq deste indicador considera três pontos-chave:

- (1) Serviços ambientais prestados pelo solo, como a regulação do ciclo hídrico e a diversidade biológica são avaliados pela quantidade de área classificada como área protegida;
- (2) Práticas agrícolas;
- (3) Grau de destruição do solo, que considera a construção de áreas urbanas e outras infraestruturas como vias de comunicação, atividades extrativas, barragens e aterros; a destruição recente de solo de boa qualidade é penalizada, enquanto a destruição de solo de qualidade inferior ou mais antiga não é considerada tão severa.

Tabela 0-3: Critérios para atribuição do fator de equivalência relativamente ao uso do solo

| | |
|---|-------------|
| Solo prestador de serviços ambientais e culturais, classificado como área protegida | 0 < feq < 1 |
| Solo com ocupação humana sustentável (p.ex. agricultura permanente) | 1 |

| | |
|--|--------------|
| tradicional) | |
| Solo com práticas agrícolas insustentáveis (provocando erosão ou salinização) | 1<feq <4 |
| Solo destruído antes de 1972 (Conferência de Estocolmo) ou que apresenta baixa qualidade | 4 |
| Solo destruído após 1972, dependendo da data de destruição e da capacidade de carga | 4<feq <10 |

Em relação à destruição recente do solo é atribuído um fator de equivalência entre 4 (solo pobre) e 10 (solo agrícola primário). A informação sobre o solo é baseada unicamente em critérios internacionais, como a classificação do solo da FAO.

Emissão de gases com efeito de estufa (GH – Greenhouse gas emissions)

O GH mede o potencial de aquecimento global das emissões associadas ao produto/serviço em estudo. Os fatores de equivalência dos diferentes gases são dados segundo a metodologia do Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), que determina o potencial de aquecimento global dos GEE (Amorim, 2016).

Poluição do ar (PA) e Poluição da água e solo (PWL)

Existe um conjunto enorme de poluentes que podem ser considerados, daí foram adotados critérios para escolher os determinantes:

- Poluentes ambientalmente significativos;
- Poluentes relevantes em relação aos seus efeitos na saúde pública e no ambiente;
- Poluentes comuns na indústria, de modo que os resultados sejam significativos para uma variedade de produtos e processos de produção;
- Poluentes com registo de medições, preferencialmente obrigatórias;
- Poluentes com forte correlação a efeitos globais.

Os indicadores PA e PWL possuem a mesma abordagem de cálculo presente na Equação 4. Os fatores de equivalência são calculados dividindo o limiar de referência pelo limiar de cada 30

poluente do protocolo Pollutant Release and Transfer Register (PRTR), o que reflete a perigosidade relativa de cada substância; quanto mais elevados, maior o perigo. O método EcoBlok escolheu, como poluentes de referência, os óxidos de azoto (NOx) para o ar e o azoto total (N) para a água e solo.

$$feq_{ij} = \frac{L_{Refi}}{L_{ij}}$$

Equação 3

feq_{ij} – Fator de equivalência do poluente j , para o indicador i

L_{Refi} – Limiar de emissão para o poluente de referência do indicador i

L_{ij} – Limiar de emissão para o poluente j , para o indicador i

As dioxinas e furanos são um grupo de substâncias cujo limiar de emissão é muito baixo no PRTR. Este facto leva a que o feq no método EcoBlok seja muito elevado, implicando distorções nos resultados ao nível de poluição (principalmente, poluição do ar). É de referir que a maioria dos métodos de AICV sobrevaloriza a importância das dioxinas.

O feq das dioxinas e furanos foi adaptado através do Fator de Equivalência Tóxica (TEF), que utiliza equivalentes tóxicos (TEQ) para relacionar um produto químico com o TCDD. Por definição, o TEF do TCDD é 1,0 e o TEF do PCB126 (que funciona como índice químico dos PCBs) é 0,1. Assim, o feq das dioxinas e furanos foi substituído por um feq superior numa ordem de grandeza em relação aos PCBs (U.S. EPA (Environmental Protection Agency), 2010).

Resumidamente são apresentados na Tabela 3.8 os indicadores EcoBlok acima explicados.

Tabela 0-4: Indicadores EcoBlok e critérios de cálculo.

| Indicador | Critério utilizados na determinação do fator de equivalência | Unidades típicas – bens ou serviços | Unidades típicas – organizações |
|-------------------------------|--|-------------------------------------|---------------------------------|
| WA – Water abstraction | Intensidade de exploração dos recursos hídricos | L eq. | m ³ eq./ano |
| RE – Resource | Duração do stock para o atual | kg eq. | t eq./ano |

| | | | |
|--|---|------------|---------------|
| extraction | nível de extração | | |
| LU – Land use | Valor ecológico e social do solo; ciclo da água; práticas agrícolas | m2 eq.ano | ha eq. |
| GH – Greenhouse gas emissions | Potencial de aquecimento global (metodologia do IPCC) | kg CO2 eq. | t CO2 eq./ano |
| PA – Non-GHG emissions to air | Toxicidade ou perigosidade equivalente | g NOx eq. | t NOx eq./ano |
| PWL – Emissions to water and land | | g N eq | t N eq./ano |

Índice EcoBlok

O método EcoBlok permite agregar os resultados dos indicadores num único valor ou índice através da conversão dos indicadores à mesma unidade de área (m2 EB), um conceito inerente à Pegada Ecológica. Na tabela seguinte encontram-se os fatores de conversão usados para obter a pegada EcoBlok.

Tabela 0-5: Factores de conversão usados para obter o Índice EcoBlok.

| Indicador | Fator de conversão | Unidades | Critério de conversão |
|------------------|---------------------------|---------------------|--|
| WA | 5 | m2EB.ano/m3 eq. | A soma dos 3 indicadores deve aproximar-se da área real |
| RE | 0,5 | m2EB.ano/kg eq. | |
| LU | 0,5 | m2EB/m2 eq. | |
| GH | 2 | m2EB.ano/kg CO2 eq. | Área global virtual necessária para captar o excesso de GEE |
| PA | 3 | m2EB.ano/kg NOx eq. | Área global virtual necessária para capturar o excesso de poluição |
| PWL | 6 | m2EB.ano/kg N eq. | |